

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“PROPUESTA DE ESTRUCTURAS DE  
BIOTECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE EROSIÓN  
HÍDRICA (CÁRCAVA) EN LA COMUNIDAD DE  
CHALLACOLLO-ILAVE-PUNO-2013”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**BACH. JOSE LUIS HUARICCALLO  
MAQUERA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO-PERÚ  
2013**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

“PROPUESTA DE ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA PARA EL  
 CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA (CÁRCAVA) EN LA COMUNIDAD DE  
 CHALLACOLLO – ILAVE – PUNO-2013”

**TESIS**

PRESENTADA POR:

**JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA**

PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE**

:

  
 Dr. JOSÉ J. VERA SANTA MARÍA


**PRIMER MIEMBRO**

:

  
 ING. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

**SEGUNDO MIEMBRO**

:

  
 ING. MARCO A. RODRIGUEZ MENDOZA


**DIRECTOR DE TESIS**

:

  
 M.Sc. GERMAN BELIZARIO QUISPE

**ASESOR DE TESIS**

:

  
 M.Sc. FLAVIO ORTIZ CALCINA

ÁREA : Ingeniería y Tecnología

TEMA: Ecosistemas estratégicos para la adaptación al cambio climático

LÍNEA: Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

## DEDICATORIA

*A ti Dios porque siempre me apoyas cuando más te necesito, por darme fuerza y coraje para hacer realidad este sueño.*

*A mis queridos padres Máximo Huariccallo y Felicitas Maquera por el apoyo, amor y confianza que me brindan en todo momento, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor.*

*A mis queridos hermanos Oscar, Elsa, Edgar, Rogelio, Cesar, Juan Carlos y al amor de mi vida Rosmery Milagros por el apoyo incondicional que me proporcionan en todo momento.*

*José L. H. M.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Escuela Profesional De Ingeniería Agrícola, por ser la casa donde me forme y por la labor que cumple en el logro de nuestra formación profesional.*

*A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por haberme brindado sus conocimientos y enseñanzas y haber compartido sus experiencias para mi formación profesional en los claustros universitarios. En especial al Ing. José Alberto Limache Rivas y al M.Sc. German Belizario Quispe por ser un guía más del desarrollo profesional en honor a nuestra facultad.*

*A mis queridos familiares y al amor de mi vida Rosmery, quienes siempre supieron confiar y brindarme su apoyo incondicional, por creer y confiar siempre en mí, apoyándose en todas las decisiones que he tomado en la vida.*

*Muchas Gracias...!!!*

José L.H.M.

**CONTENIDO**

**RESUMEN**

**INTRODUCCIÓN**

**I. ....**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 1**

1.1. .... 1

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 1**

1.2. .... 2

**ANTECEDENTES ..... 2**

1.3. .... 5

**JUSTIFICACIÓN ..... 5**

1.4. .... 6

**OBJETIVOS ..... 6**

**A. .... 6**

**Objetivo general ..... 6**

**B. .... 6**

**Objetivos específicos ..... 6**

1.5. .... 7

**HIPÓTESIS ..... 7**

**A. .... 7**

**Hipótesis general ..... 7**

**B. .... 7**

**Hipótesis específicas ..... 7**

**II. ....**

**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA ..... 8**

2.1. .... 8

**CUENCA HIDROGRÁFICA ..... 8**

2.2. .... 8

**EROSIÓN DEL SUELO ..... 8**

**2.2.1. .... 8**

**Tipos de erosión del suelo ..... 8**

**2.2.2. .... 9**

**Los agentes de la erosión ..... 9**

**2.2.3. .... 9**

**Erosión hídrica ..... 9**

**2.2.3.1. .... Fa**

**ctores de la erosión hídrica ..... 10**

**2.2.3.2. ....**

	Tipos de la erosión hídrica.....	12
2.3.	.....	
	LA PROBLEMÁTICA DE LA EROSION EN CARCAVA .....	26
2.3.1.	.....	
	<b>Clasificación de las cárcavas .....</b>	<b>28</b>
2.4.	.....	
	CONTROL DE LA EROSIÓN EN CÁRCAVAS.....	29
2.4.1.	.....	
	<b>Estabilización de cárcavas activas.....</b>	<b>30</b>
	<b>Estructuras debiotecnología y bioingeniería.....</b>	<b>33</b>
2.4.1.1.	Muros de piedra vegetalizados .....	34
2.4.1.2.	Muros de gaviones vegetalizados.....	35
2.4.1.3.	Colchonetas de gaviones vegetalizados .....	40
2.4.1.4.	Revegetación de cárcavas .....	42
2.5.	.....	
	PASTO KIKUYO .....	44
2.5.1.	.....	
	<b>Adaptación y habito de crecimiento.....</b>	<b>44</b>
2.5.2.	.....	
	<b>Uso.....</b>	<b>45</b>
2.5.3.	.....	
	<b>Establecimiento y fertilización.....</b>	<b>45</b>
2.5.4.	.....	
	<b>Control de malezas.....</b>	<b>46</b>
2.5.5.	.....	
	<b>Mantenimiento y manejo .....</b>	<b>47</b>
2.6.	.....	
	BROMUS UNIOLOIDES (“Cebadilla”).....	47
2.7.	.....	
	FESTUCA DOLICHOPYLLA (“ <i>Chilligua</i> ”).....	48
2.8.	.....	
	SUELO.....	49
2.8.1.	.....	
	<b>Importancia del suelo .....</b>	<b>49</b>
2.8.2.	.....	
	<b>Componentes del suelo .....</b>	<b>49</b>
2.8.3.	.....	
	<b>Perfil del suelo .....</b>	<b>51</b>

2.8.4.....	Propiedades físicas del suelo.....	52
2.8.5.....	Propiedades químicas del suelo .....	57
III.....		
	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>67</b>
3.1.....	ÁREA DE ESTUDIO .....	67
3.1.1.....	Ubicación geográfica.....	67
3.1.2.....	Ubicación política .....	68
3.1.3.....	Accesibilidad.....	69
3.2.....	MATERIALES Y EQUIPOS.....	69
3.1.4.....	<b>Materiales.....</b>	69
3.1.5.....	<b>Equipos.....</b>	69
3.1.6.....	<b>Servicios.....</b>	70
3.3.....	METODOLOGÍA.....	70
3.3.1.....	<b>Identificación de la cárcava para el estudio.....</b>	70
3.3.2.....	<b>Levantamiento topográfico.....</b>	70
3.3.3.....	<b>Descripción de la cárcava.....</b>	71
3.3.4.....	<b>Toma de datos físicos de las vegetaciones de la zona.....</b>	71
3.3.5.....	<b>Toma de muestras de suelo.....</b>	73
3.3.6.....	<b>Trabajo en gabinete.....</b>	74
3.3.6.1.....	Estructuras de biotecnología para el control de erosión hídrica.....	74
3.3.6.2.....	Evaluación de las vegetaciones .....	77

<b>IV.</b>	.....	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	.....	80
4.1.	.....	
<b>CLASIFICACIÓN DE LA CÁRCAVA</b>	.....	80
4.2.	.....	
<b>ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE CARCAVAMIENTO</b>	.....	81
<b>4.2.1. Muros de piedra vegetalizados</b>	.....	81
<b>4.2.2. Gaviones</b>	.....	82
4.3.	.....	
<b>ANÁLISIS PARA EL CONTROL, EN LA CABEZA DE CÁRCAVA</b>	.....	84
4.4.	.....	
<b>ANÁLISIS PARA EL CONTROL, DEL AVANCE LATERAL</b>	.....	92
4.5.	.....	
<b>ANÁLISIS PARA EL CONTROL, DE FONDO DE CÁRCAVA</b>	.....	96
4.6.	.....	
<b>EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS VEGETACIONES</b>	.....	99
4.7.	.....	
<b>EVALUACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS</b>	.....	113
4.8.	.....	
<b>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO DE SUELOS</b>	.....	114
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	117
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	119
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	.....	120
<b>ANEXOS</b>	.....	123



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Dimensiones de los muros de gaviones .....	40
Cuadro 2: Dimensiones de las colchonetas de gaviones .....	42
Cuadro 3: Clasificación de los suelos según el valor del pH .....	60
Cuadro 4: Niveles de nitrógeno.....	62
Cuadro 5: Niveles de fósforo disponible.....	63
Cuadro 6: Niveles de potasio disponible .....	64
Cuadro 7: Niveles de la materia orgánica .....	65
Cuadro 8: Cuadro de distancias de ubicación del proyecto.....	69
Cuadro 9: Cuadro para el análisis de control de los tres procesos de carcavamiento, en progresivas .....	75
Cuadro 10: Cuadro de parcelas, Challacollo, 2012 .....	77
Cuadro 11: Cuadro para datos, Challacollo, 2012.....	78
Cuadro 12: Parámetros climáticos, Challacollo, 2012 .....	79
Cuadro 13: Parámetros de suelo, Challacollo, 2012 .....	79
Cuadro 14: Dimensiones de la cárcava en progresivas, Challacollo, 2013.....	80
Cuadro 15: Estructuras y parámetros descritos en cabeza de la cárcava (Progresiva 0+300), Challacollo, 2013 .....	85
Cuadro 16: Estructuras y parámetros descritos en el avance lateral de la cárcava (Progresiva 0+180), Challacollo, 2013 .....	93
Cuadro 17: Estructuras y parámetros descritos en el avance de fondo de la cárcava (Progresivas 0+000 a 0+300), Challacollo, 2013. ....	96
Cuadro 18: Número de plantas por m <sup>2</sup> , Challacollo, diciembre, 2012.....	99
Cuadro 19: Longitud de hojas por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.....	100

Cuadro 20: Ancho máximo de cada hoja por vegetación,Challacollo, diciembre, 2012 .....	102
Cuadro 21: Diámetro de tallos por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.....	103
Cuadro 22: Número de tallos por m <sup>2</sup> , Challacollo, diciembre, 2012.....	105
Cuadro 23: Número de hojas por tallo, Challacollo, diciembre, 2012 .....	106
Cuadro 24: Densidad promedio de hojas por m <sup>2</sup> , Challacollo, diciembre, 2012 .....	107
Cuadro 25: Longitud de raíces por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012 .....	108
Cuadro 26: Diámetro de raíces por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.....	110
Cuadro 27: Densidad de raíces por m <sup>2</sup> , Challacollo, diciembre, 2012 ....	111
Cuadro 28:Matríz de resultados, de datos físicos de las tres vegetaciones.....	112
Cuadro 29: Resultados de los parámetros climáticos, Challacollo, 2013.....	114
Cuadro 30: Resultados del laboratorio de suelos.....	114

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1: Erosión por golpeo de una gota de lluvia. ....	13
Figura 2: Erosión laminar. ....	14
Figura 3: Erosión en surcos. ....	16
Figura 4: Erosión en cárcavas. ....	17
Figura 5: Erosión en cárcavas en la zona de estudio. ....	18
Figura 6: Movimiento en masa en el talud lateral de la cárcava. ....	20
Figura 7: Profundización de fondo de la cárcava. ....	21
Figura 8: Avance lateral de la cárcava. ....	22
Figura 9: Avance en la cabeza de la cárcava. ....	23
Figura 10: Proceso de formación de una cárcava. ....	27
Figura 11: Características de las cárcavas. ....	28
Figura 12: Muros de piedra vegetalizados. ....	34
Figura 13: Muros en gaviones vegetalizados. ....	36
Figura 14: Colchonetas de gaviones. ....	41
Figura 15: Vegetalización de cárcavas. ....	43
Figura 16: Cubierta vegetal del pasto kikuyo. ....	44
Figura 17: Componentes del suelo ....	50
Figura 18: Perfil del suelo ....	51
Figura 19: Macro localización de la zona de estudio. ....	67
Figura 20: Micro localización de la zona de estudio. ....	68
Figura 21: Muros de piedra vegetalizados, Challacollo, 2013 ....	82
Figura 22: Muros y colchonetas de gaviones vegetalizados, Challacollo, 2013.....	83
Figura 23: Mecanismos de erosión que se representan en cabeza de la cárcava (Progresiva 0+300), Challacollo, 2013. ....	84
Figura 24: Forma de aplicación de estructuras de biotecnología, al perfil	

original de la cabeza de cárcava (Progresiva 0+300), Challacollo, 2013.....	92
Figura 25: Mecanismos de erosión que se presentan en el avance lateral (Progresiva 0+180), Challacollo, 2013. ....	92
Figura 26: Forma de aplicación de los muros de piedra, a la sección original del avance lateral de cárcava (Progresiva 0+180), Challacollo, 2013.....	95
Figura 27: Mecanismos de erosión que se presentan en el avance de fondo de la cárcava.....	96
Figura 28: Forma de aplicación de las colchonetas de gaviones, a la sección original del avance de fondo (Progresiva 0+180), Challacollo, 2013.....	99

## INDICE DE GRAFICOS

Grafica1: Distribución de datos, número de plantas por m <sup>2</sup> de parcela .....	100
Grafica2: Distribución de datos, longitud de hojas por vegetación .....	101
Grafica3: Distribución de datos, ancho de hojas por vegetación .....	103
Grafica4: Distribución de datos, diámetro de tallos por vegetación .....	104
Grafica5: Distribución de datos, número de tallos por vegetación de parcelas.....	105
Grafica6: Distribución de datos, número de hojas por tallos .....	107
Grafica7: Distribución de datos, densidad de hojas por m <sup>2</sup> .....	108
Grafica8: Distribución de datos, longitud de raíces por vegetación .....	109
Grafica9: Distribución de datos, diámetro de raíces por vegetación.....	111
Grafica10: Distribución de datos, densidad de raíces por m <sup>2</sup> .....	112

## RESUMEN

*La comunidad de Challacollo presenta graves problemas de deterioro de suelos agrícolas por la erosión hídrica, a consecuencia de las malas prácticas agrícolas, el cual trae consigo la formación de cárcavas, reduciendo así las áreas de cultivo. El objetivo de la investigación es proponer estructuras de biotecnología para el control de la erosión hídrica en la comunidad de Challacollo; vegetación con las mejores características físicas de la zona, para ello se describió y evaluó los procesos, mecanismos de la erosión hídrica que se presentan en la cárcava, a fin de controlar en función a los materiales disponibles en la comunidad; así mismo se evaluó las características físicas de tres vegetaciones existentes en la comunidad, más los factores primordiales para el trasplante de una vegetación (clima y suelo), en dos zonas: Zona donde crece la vegetación y la cárcava donde se trasplantará, obteniendo así las estructuras de biotecnología que controlaran los procesos de cárcavamiento, son los muros de piedra, muros de gaviones, colchonetas de gaviones. La vegetación con buenas características físicas y adecuadas de suelo para el trasplante es *Pennisetum clandestinum* (kikuyo). Las estructuras de tecnología y la vegetación determinada, forman una estructura rígida de biotecnología.*

## INTRODUCCIÓN

*Uno de los problemas más relevantes en la comunidad de Challacollo y zonas aledañas, son considerables pérdidas de suelo agrícola por la erosión hídrica que forman cárcavas, presentando así degradación del suelo, transporte de sedimentos erosionados por precipitaciones, malas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo con animales domésticos. Ya que los pobladores de la zona no tienen conocimiento del manejo y conservación de praderas, menos se preocupan las instituciones públicas en el monitoreo de zonas importantes como el caso nuestro.*

*El ámbito de estudio es una lomada de 3,000 há, donde existe la erosión hídrica por cárcavas en donde se viene perdiéndose grandes superficies de suelo agrícola, además es una zona de recarga de acuíferos, el cual necesita la inmediata intervención de los pobladores e instituciones públicas del estado, involucradas en temas de conservación de suelos y agua.*

*Por ende, la presente investigación enfoca a la utilización de los recursos más eficientes para el control de erosión hídrica en cárcavas, como los muros en gaviones, muros de piedra, colchonetas de gaviones vegetalizados; las cuales son estructuras que se deben diseñar e implementar en las cárcavas de la zona de estudio, por las instituciones públicas y privadas encargadas en el manejo y conservación de suelos en función a los resultados de la presente investigación, de modo que disminuirá y controlara la erosión hídrica en cárcava, mitigando así las grandes perdidas de áreas agrícolas, evitando así el arrastre de sedimentos a las partes bajas de la microcuenca, por consiguiente alterando la textura del suelo, reduciendo área de recarga de acuíferos.*

*Si se diseña e implementa las estructuras de biotecnología, ésta posibilitara afrontar y/o mitigar los graves problemas del crecimiento poblacional que va aumentando año tras año, a la vez el incremento de las necesidades de alimentación de los mismos.*

*El presente trabajo de investigación presenta en primer capítulo el problema de investigación, antecedentes, justificación y objetivos, en el segundo capítulo la fundamentación teórica del problema de investigación, en el tercer capítulo los materiales y métodos que se utilizaron en la presente investigación, en el cuarto capítulo los resultados obtenidos durante el presente trabajo, además incluyen las conclusiones a que se arribaron y recomendaciones que se presentan.*



## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

### 4.9. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El centro internacional de referencia e información de suelo (ISRIC) y el programa del medio ambiente de las naciones unidas(UNEP), manifiestan que a nivel mundial los suelos se encuentran en grave estado de degradación, siendo la erosión del suelo como el proceso que afecta a mayor número de hectáreas de tierras , representando más del 80% de toda la degradación. La organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), citado por kappellem(2009), indica que la erosión del suelo se encuentra en su punto más grave desde hace 20 años y de acuerdo de una creciente estudio a mediados de la primera década del siglo XXI la degradación del suelo afecta a más de 500 millones de personas.

En el Perú uno de los problemas frecuentes, es la erosión de suelos de las áreas de las tierras cultivables y en casos extremos nos lleva a la pérdida total del suelo, esto se da debido al arrastre del agua, a causa de fuertes precipitaciones, el sobrepastoreo y la mala práctica de tierras agrícolas. En la sierra, parte de la actividad agrícola se hace sobre las laderas, con pendientes en su mayor parte muy pronunciadas. La erosión de los suelos es un problema ambiental que afecta a gran parte del territorio local, regional, nacional y mundial. En este caso a la comunidad de Challacollo - llave, tiene como principal problema el riesgo a sufrir más pérdidas de suelos agrícolas altamente productivos, los arrastres de las sedimentaciones a las partes bajas donde habitan los pobladores.

El problema fundamental que se observa a nivel de las cuencas y micro cuencas del altiplano, después de la ocurrencia de una tormenta, ocasiona la acumulación del agua en las partes bajas y el arrastre de

sedimentos que ocasiona la colmatación de los cauces, provocando la pérdida de suelos agrícolas formando cárcavas, inundaciones en los terrenos agrícolas y por consiguiente ocasionando pérdidas económicas.

El problema principal que se presenta en la comunidad de Challacollo es la erosión hídrica por cárcavas en diferentes grados de severidad y en diferentes lugares de la zona en la cual es de suma importancia el control de la erosión.

Para mitigar estos problemas nos hemos formulado las siguientes interrogantes:

- ¿Cómo evitar las pérdidas de suelo que se viene ocasionando en la comunidad campesina de Challacollo?
- ¿Qué recursos utilizar para mitigar (evitar) las pérdidas de suelo por erosión hídrica mediante cárcavas, en la comunidad de Challacollo?
- ¿Qué obras de biotecnología optar para el control de la erosión hídrica?

#### 4.10. ANTECEDENTES

Quintanilla (2008), realizó la estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río Caine del departamento de Cochabamba, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE, por sus siglas en inglés), de naturaleza empírica, es el método más empleado a nivel mundial, que utiliza una base de datos referidos a la lluvia, suelos, pendiente, uso – cobertura y prácticas de manejo. Los resultados de pérdida de suelo promedio en tn/há/año, determinada de acuerdo al modelo USLE, muestra un valor máximo de 1945 tn/há/año, en una mínima superficie de la cuenca, constituida principalmente por áreas altamente degradadas, por consiguiente una gran parte de la erosión representada por el 66% es fuerte o muy fuerte, por lo tanto la cuenca está sometida a

un fuerte proceso erosivo que puede atribuirse a la característica geomorfológica y cobertura vegetal constituida principalmente por serranías empinadas y herbazales ralos.

Montes (2000), en la cuenca del río Santa Catarina del estado de Querétaro en México evaluaron el riesgo de erosión hídrica mediante la utilización del modelo USLE. Los factores incluidos fueron la erosividad (R), erodabilidad (K), el efecto de la longitud y gradiente de la pendiente (LS), apoyados de SIG para la espacialización, mediante procesos como el de la distancia ponderada para R, la distribución de las unidades de suelo para K, y modelos de elevación digital para LS. Los resultados para toda la cuenca muestran un gran porcentaje de la superficie con un alto riesgo de erosión, con índices muy superiores a los 80 tn/há/año; este riesgo se localiza preferentemente en las zonas altas y de pendiente fuerte, también se observa que el riesgo es importante entre 40 a 80 tn/há/año; en las zonas de transición (pie de monte) e inclusive en algunas partes bajas de la cuenca, los resultados obtenidos mostraron total concordancia con lo ocurrido en campo y sirvieron para la planeación de un programa de manejo y conservación del recurso suelo de la cuenca.

Ancco (2006), realizó el modelamiento de la erosión hídrica en la microcuenca del río Coraraca, ubicada dentro de la cuenca del río llave, para ello utilizó la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) con un SIG, alcanzando los siguientes resultados: en sus 33.92% de su superficie sufre un riesgo de degradación por erosión hídrica muy alto (mayores a 200tn/há/año), los riesgos de degradación alto (50-200tn/ha/año), cubren un 33.45% de la microcuenca, los riesgos de degradación moderados (10-50tn/há/año) ocupan una superficie de 6.15% y los riesgos de degradación ligera (menores a 10tn/há/año), se

ubican predominantemente en las partes bajas de la microcuenca ocupando una superficie de 26.47%.

Ccama (2011), realizó un estudio de estimación de pérdida de suelo con teledetección y SIG en la cuenca del río llave, donde obtuvo los siguientes resultados: Los valores obtenidos a través del modelo USLE, muestran que la cuenca del río llave posee, en un 5.9% de su superficie un riesgo de degradación por erosión hídrica crítica ( $>200$  tn/há/año), los riesgos de degradación muy alta (100-200 tn/há/año) cubren un 14.19% de la cuenca, los riesgos de degradación alta (50-100 tn/há/año) ocupan una superficie de 9.65%, los riesgos de degradación media (25-50 tn/há/año) ocupan una superficie de 21.23%, los riesgos de degradación moderada (5-25 tn/há/año) ocupan una superficie de 34.71% y los riesgos de degradación baja ( $<5$  tn/há/año) cubren una superficie de 14.32%.

Maquera (2013), realizó un estudio de estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica para la propuesta de buenas prácticas agrícolas, ubicado en el departamento de Puno, provincia de El Collao, específicamente en la comunidad de Challacollo en una microcuenca de 16.49há, usando la Ecuación de Perdida de Suelo (USLE), donde obtuvo en pendientes: de 2-4% una pérdida de 35.10 tn/há/año., en una área de 6.7há; de 4-8% una pérdida de 74.80 tn/há/año., en una área de 6.53há; pendiente 8-15%, pérdida de 157.75 tn/há/año en una área de 2.72há.

#### 4.11. JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas ambientales más serios que se está presentando a nivel mundial es el estado de degradación de las tierras de cultivo, así mismo en el Perú específicamente en el altiplano puneño está inmerso en este problema ambiental, la comunidad de Challacollo hace varios años atrás presenta graves problemas de degradación de suelos, esto se da a consecuencia de los factores climáticos adversos como la precipitación, vientos. Junto con las condiciones geomorfológicas de relieves con pendientes fuertes, sobrepastoreo en las partes altas, han llevado a acelerar los procesos de erosión en la microcuenca. Lo que está generando pérdidas importantes de la capacidad productiva de los suelos agrícolas, áreas de pastoreo, la cual representa una seria amenaza para el abastecimiento de alimentos de primera necesidad para la población creciente, poniendo en riesgo el bienestar de sus habitantes. Por otro lado la erosión disminuye la vida útil de las obras hidráulicas por la cantidad de sedimentos que arrastra el agua, ocasionando la colmatación de los cauces, lo cual genera problemas de inundación en las partes bajas de la microcuenca, la pérdida de suelos agrícolas ocasiona la baja producción de alimentos en la zona, por consiguiente pobreza y migración de los pobladores.

La pérdida de suelos muestra un problema ambiental, social que debe ser atendida para evitar mayores impactos, posibles daños irreversibles, ello justifica el desarrollo de la presente investigación, referido al análisis de estructuras de biotecnología para el control de la erosión hídrica por cárcavas en la comunidad de Challacollo-llave, ya que es de suma importancia el control de la erosión hídrica con recursos naturales más eficientes además de favorecer al medio ambiente.

#### 4.12. OBJETIVOS

##### **A. Objetivo general**

Plantear una propuesta de estructuras de biotecnología para el control de la erosión hídrica por cárcava, en los diferentes procesos de cárcavamiento en una microcuenca de la comunidad de Challacollo y determinar una vegetación.

##### **B. Objetivo específico**

Proponer estructuras de biotecnología para el control de la erosión hídrica en sus diferentes procesos de cárcavamiento.

Determinar la vegetación de la zona, con las mejores características físicas para el trasplante a la cárcava, en el control de la erosión hídrica.

#### 4.13. HIPÓTESIS

##### **A. Hipótesis general**

Existen estructuras de biotecnología para el control de los diferentes procesos de cárcavamiento, en una cárcava que nos permite una mejor alternativa para el diseño y control de la erosión hídrica por cárcava.

##### **B. Hipótesis específico**

Existe una estructura de biotecnología para cada uno de los procesos de cárcavamiento que nos permite controlar la erosión hídrica, que es necesario para el diseño e implementación para mitigar la erosión por cárcava.

Existe una vegetación de la zona, con buenas características físicas para el trasplante a la cárcava en el control de la erosión hídrica.

## V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 5.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

Vasquez(2000), indica que la cuenca hidrográfica es el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica(*divortiumaquarum*), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal. Moreno yRenner(2007), indican que es el área de agua superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, las cuales confluyen en un curso mayor, que a su vez, puede desembocar a un río principal, en un deposito natural de agua, en un pantano o directamente al río o al mar.

### 5.2. EROSIÓN DEL SUELO

#### 2.2.4. Tipos de erosión del suelo

La erosión del suelo es la remoción del material superficial por la acción del viento o del agua (Kirkby, 1984) y corresponde a un fenómeno que ha existido desde la formación de la tierra misma por los factores que en ella intervienen. La superficie de la tierra es afectada por procesos exogénicos y endogénicos, los primeros tienden a nivelar, mientras que los segundos tienden a formar un nuevo relieve. Estos procesos operan en direcciones opuestas y por tanto, la superficie terrestre que vemos en la actualidad es el producto de cambios muy lentos que se hacen notables solo en periodos largos de tiempo.



La erosión es uno de los aspectos de este proceso de cambios, de acuerdo a las fuerzas que actúan y tiempos de ocurrencia, se definen dos tipos:

1. **Erosión Natural geológica:** Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia son generalmente bajas.
2. **Erosión Acelerada o inducida:** Es aquella que se presenta cuando la acción de los agentes naturales se agrega a la acción del hombre. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo y en términos generales su ocurrencia es más frecuente que la geológica.

#### 2.2.5. Los agentes de la erosión

Los principales agentes que intervienen en el proceso de la erosión son: el agua y el viento. Cuando el agente causal es el agua, la erosión se denomina **hídrica**, mientras que cuando el agente causal es el viento, se denomina **eólica**. Existen otros agentes causantes de la erosión que en menor escala y extensión causan el movimiento del suelo, tales como la gravedad, la maquinaria, y algunos procesos biológicos. En cualquier caso, la **erosión hídrica** es de mayor importancia en nuestro país.

#### 2.2.6. Erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas del suelo

por efectos de la acción del agua. Cuando las pérdidas de suelo son mayores a la formación del mismo en condiciones naturales se presenta la erosión geológica natural, pero cuando dichas pérdidas son aumentadas por la acción del hombre se presenta la erosión acelerada (Hudson, 1977; citado por Hernández, 1990).

Los procesos de erosión hídrica están relacionados con las rutas que sigue el agua en su paso a través de la cobertura vegetal y su movimiento sobre la superficie del suelo, su fundamento descansa por tanto, en el ciclo hidrológico. Durante una tormenta parte del agua cae directamente sobre la superficie del suelo, esta fracción de lluvia se denomina precipitación directa, parte de lluvia es interceptada por la cubierta vegetal, desde donde vuelve a la atmosfera por evaporación o llega al suelo goteada por las hojas o fluye hacia abajo por los tallos (Torres, 2002).

#### 2.2.3.2 Factores de la erosión hídrica

Según Kirkby y Morgan (1984). Los cinco factores responsables de la erosión hídrica son:

##### 1. Lluvia.

- **Intensidad de lluvia:** factor principal, es la cantidad de agua caída en una unidad de tiempo. La intensidad se mide en mm/hora.
- **Duración:** Es el tiempo que transcurre entre el comienzo y fin de la precipitación o tormenta.

- **Frecuencia:** Es el número de veces que se repite una precipitación o tormenta.

## 2. Suelo.

Tipo de suelo como su agregación, su textura, y estructura. Su capacidad de infiltración, entre otras, afecta su erosionabilidad.

## 3. Topografía.

La topografía es un factor importante que favorece la erosión hídrica, sobre todo su pendiente, geomorfología, longitud y magnitud.

## 4. Vegetación.

La cobertura vegetal también es factor importante, por suelos sin cobertura vegetal son más propensos a ser erosionados, influye mucho el tipo de vegetal que predomina en una cuenca los vegetales como las poaceas(pastos naturales, chilliguales controlan mejor la erosión hídrica).

## 5. Uso.

Los cultivos, según especie, densidad, necesidades, rotaciones, etc., y el manejo del suelo, fitosanitarios, laboreo (tipo, intensidad, maquinaria,...) ejercen un papel primordial en la erosión de los suelos hasta el punto de que podemos señalar al uso del suelo como la única causa responsables de la erosión de nuestros suelos.

Los suelos vírgenes nunca (o prácticamente nunca) presentan erosión, mientras que esta degradación es omnipresente en las tierras cultivadas.

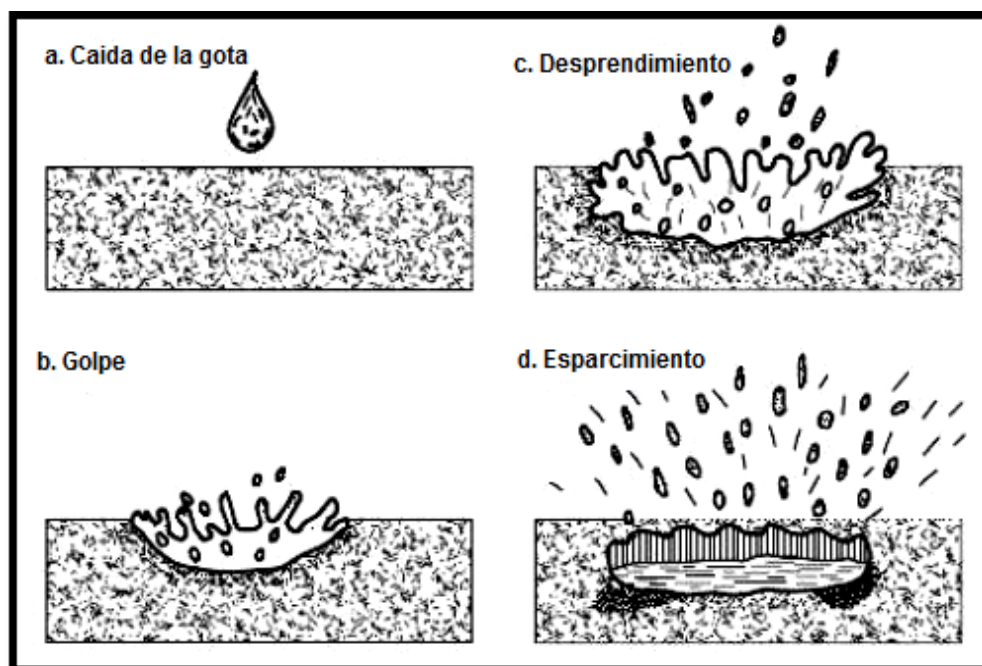
### **2.3.3.2. Tipos de Erosión Hídrica**

(Young y Wiersma, 1973; citado por Rivera Robles, 2003). Los tipos de erosión hídrica son cinco:

#### **1. Erosión por salpicadura.**

La erosión por salpicadura de la lluvia ocurre por impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, salpicando cantidades enormes de suelo debido a la energía cinética de impacto el cual produce el desprendimiento y remoción de las capas delgadas de suelo. Este impacto rompe la estructura del suelo y lo separa en partículas relativamente pequeñas. Estas partículas son luego transportadas por la escorrentía. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte a un área aproximadamente un metro cuadrado. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie que a partir de ello ocasiona otro tipo de erosión hídrica que será definida posteriormente.

La erosión es una función del poder erosivo del agua y de la erosionabilidad del suelo. La erosión causada por la lluvia está determinada por la cantidad, intensidad y duración de la misma. Cuando la intensidad y cantidad de lluvia es alta la erosión será más alta.

**Figura 1: Erosión por golpeo de una gota de lluvia.**


Nota: Suarez, 2001.

## 2. Erosión laminar.

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte de capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa. El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas.

La acción de las gotas de lluvia altera el suelo superficial. El agua parcialmente se infiltra y parcialmente se acumula sobre la superficie del terreno formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera pero la profundidad de flujo aumenta talud abajo. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo pero en partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de

erosión. Al continuar la acción de la lluvia y al mismo tiempo ocurrir el flujo, aumentando la capacidad de erosión. El flujo de agua toma un color marrón o amarillo por la presencia de sedimento.

**Figura 2: Erosión laminar.**



Nota:tesis, “erosión hídrica en la microcuenca San Pedro Huimillan”, Querétaro, Qro, 2006.

### **3. Erosión en surcos.**

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o

canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U.

La profundidad del canal va aumentando. Estos flujos adquieren velocidades cada vez mayores. La energía de este flujo concentrado empieza desprender partículas de suelo incorporándolas al flujo, convirtiendo estos microflujos concentrados en las rutas preferenciales de los sedimentos.

La erosión se aumenta cuando el espesor del flujo es muy cercano al diámetro de las gotas de lluvia (0.5 a 5 mm); las partículas del suelo son removidas por el golpeo de la lluvia y transportadas por el flujo, aun con pendientes muy pequeñas. El agua dentro del surco presente considerablemente turbulencia y puede erosionar partículas relativamente grandes.

Los surcos paralelos forman una red de drenaje en la cual los surcos más profundos rompen la divisoria de los surcos más pequeños, llevando en agua al punto más bajo. Este proceso fue llamado por Horton (1945); citado por Suarez (2001), como "micro piratería". Su efecto es que talud abajo es mayor su espaciamiento y la profundidad predominante es la de los surcos de mayor poder erosivo. Este proceso puede ocurrir durante el tiempo de una sola lluvia o con el proceso continuado de varias lluvias. La capacidad erosiva de los surcos es tal, que si la cobertura vegetal y las raíces no son muy fuertes, puede romper la vegetación. Los surcos pasan por debajo de las raíces.

Cuando los surcos se hacen más profundos y más anchos se dice que los surcos se convierten en cárcavas. Si los canales de erosión tienen profundidades de menos de 30centímetros se les clasifica como surcos y si la profundidad es mayor, como cárcavas. Los surcos pueden eliminarse con rastrillado y siembra de vegetación. Las cárcavas requieren de obras más complejas de ingeniería.

Los suelos más susceptibles a formación de surcos son los suelos expuestos al agua sin cobertura vegetal alguna. Entre mayor sea la cobertura vegetal superficial, la susceptibilidad a la formación de surcos disminuye.

**Figura 3: Erosión en surcos.**



Nota: Propia, 2012.

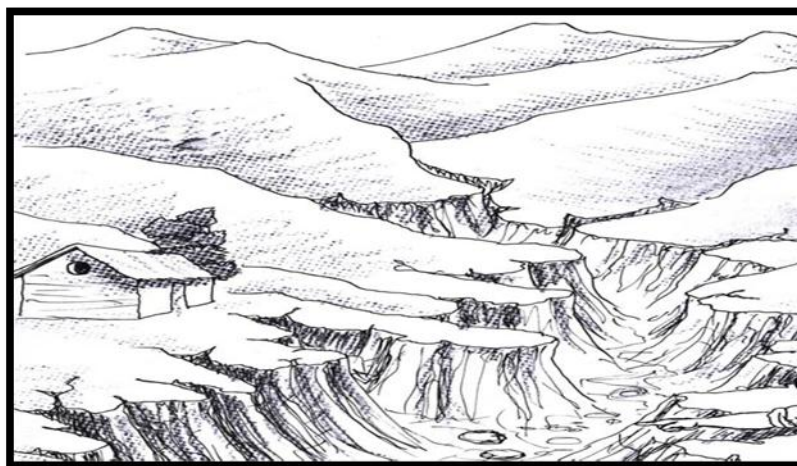


#### 4. Erosión en cárcavas.

Al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios pequeños surcos se pueden unirse y crecer para formar una cárcava.

Se denomina cárcava a un canal de erosión con una sección superior a un pie cuadrado. Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas. Las cárcavas tienen una mayor capacidad de transporte de sedimentos que los surcos. Las cárcavas actúan como causas de concentración y transporte de agua y de sedimentos. En este proceso una cárcava con causa en V captura a las vecinas y va transformando su sección de una V ampliada a U. Al inicio de las cárcavas son en V pero generalmente terminan con forma en U. Las cárcavas son canales mucho más largos que los surcos. Estos canales transportan corrientes concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias. Las cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente.

**Figura 4: Erosión en cárcavas.**



Nota: Proyecto JALDA Sucre-Bolivia.

**Figura 5: Erosión en cárcavas.**

Nota: Propia, 2012.

### **Susceptibilidad a la formación de cárcavas**

Las áreas más susceptibles a erosión en cárcavas son aquellas de topografía de alta pendiente y mantos de suelo de gran espesor. Las mesetas semiplanas que recogen gran cantidad de agua de escorrentía y a su vez tienen taludes de pendiente fuerte lateral presentan especial susceptibilidad a la formación de cárcavas, especialmente cárcavas anchas. Las áreas más afectadas por cárcavamientos son aquellas que tienen suelos dispersivos o altamente erosionables.

En el caso de suelos expansivos los procesos de humedecimiento y secamiento facilitan la formación de las cárcavas. La parte más crítica es la superficie del terreno en la parte alta del talud exactamente por debajo de las raíces de vegetación. Esta zona se erosiona, aun después de la revegetalización del talud general. En el caso en el cual aparecen suelos duros en el talud como afloramiento de roca,

se van formando gradas y la cárcava avanza indistintamente a cada nivel.

Así mismo, la eliminación de la cobertura vegetal o la destrucción de la estructura del suelo por remoción de la capa protectora superficial, expone el suelo a la erosión. La formación de cascadas o caídas de agua acelera el proceso de carcavaniento. (Suarez,2001).

### **Magnitud de la erosión en cárcavas**

Suarez (2001). Aunque el volumen total de pérdidas de suelo en el mundo debida a la erosión en cárcavas es comúnmente menor que la debida a la erosión laminar y en surcos, los daños asociados con la erosión en cárcavas puede ser mucho más significativo y los riesgos para las vidas humanas pueden ser mayores. Las cárcavas no son tan significativas como los surcos en términos del total de sedimentos que se producen en el mundo, pero son mucho más destructivos en términos de daño a carreteras, terraplenes, ciudades, etc. Y en nuestro caso a una población rural.

Una cárcava significa la pérdida de grandes volúmenes de suelo en un solo sitio. En general el control de cárcavas es difícil y costoso. La restauración de un área demanda tiempo trabajo y capital, por lo que es económicamente recomendable establecer un plan de prevención de cárcavas.

Para su estabilización se deben controlar tres partes muy importantes en el avance de una cárcava las cuales son:

4. Erosión en el fondo.
5. Erosión lateral o ampliación de la cárcava.

6. Erosión en la cabeza o avance hacia arriba de la cárcava.

### 5. Erosión en masa

Se reúnen en este tipo de erosión aquellos casos en donde se desplazan masas considerables que ocurren también en taludes de avance lateral de una cárcava de suelo sobre distancias relativamente cortas, bajo la acción de la gravedad y en mayor o menor grado de la cantidad de agua. Los movimientos en masa tienen la particularidad de ser mucho más evidentes, espectaculares y rápidos.

**Figura 6: Movimiento en masa en el talud lateral de la cárcava**



Nota: Propia, 2012.

## PROCESOS DE CARCAVANIENTO

(Bache y Macaskill, 1984; citado por Suarez, 2001), menciona que“Los procesos más importantes en el crecimiento de una cárcava son”:

1. **Profundización del fondo de la cárcava.** El fondo de la cárcava se va profundizando en forma continua o discontinua. El proceso continuo hasta que se logra una pendiente de equilibrio o aparece un manto profundo más resistente a la erosión.

**Figura 7: Profundización de fondo de la cárcava.**



Nota: Propia, 2012.

2. **Avance lateral.** Al profundizarse el fondo de la cárcava esta se amplía por la inestabilidad geotécnica de los taludes laterales.

**Figura 8: Avance lateral de la cárcava.**



Nota: Propia, 2012.

3. **Avance de cabeza de la cárcava.** El avance más dramático es comúnmente el avance de la cárcava hacia arriba de la pendiente, aumentándose permanentemente la altura del escarpe vertical entre la corona y la cabeza. Entre más alto es el escarpe la inestabilidad es mayor y la cárcava avanza a una mayor velocidad.

El afloramiento de aguas de las paredes o pies de los taludes de la cárcava es muy importante en el avance tanto lateral como aguas arriba en el proceso de erosión. Al encontrar corrientes de agua subterráneas aumenta a su vez el proceso de inestabilidad del escarpe.

**Figura 9: Avance en la cabeza de la cárcava.**

Nota: Propia, 2012.

### **Ampliación de las cárcavas**

Las aguas de escorrentía concentrada forman inicialmente surcos, los cuales se profundizan por debajo de la cobertura vegetal. Una vez se forma la cárcava de erosión esta se va tornando más profunda, y se produce ampliación lateral, profundización de fondo y hacia arriba. La cabeza de la cárcava se hace más alta y esta avanza talud arriba cada vez más rápidamente, volviéndose prácticamente incontrolable. Adicionalmente a la erosión propiamente dicha, se produce desprendimiento lateral de pequeños bloques de suelo. La profundización de la cárcava trae a su vez la ampliación y su avance hacia arriba. La cabeza de la cárcava forma un escarpe cada vez más alto y lo mismo ocurre lateralmente. Se presentan

entonces deslizamientos de suelo en estos taludes semiverticales.

En este proceso se pueden formar varios canales secundarios. Al profundizarse el canal se aumenta la pendiente y la capacidad erosiva de la corriente concentrada. Si en el proceso de cárcavamiento el canal se profundiza por debajo de nivel freático, se generan erosiones por exfiltración del agua subterránea hacia a la cárcava acelerándose el proceso de la ampliación de la cárcava. Si aparece a profundidad un manto más resistente a la erosión, el proceso de erosión disminuye pero el proceso de ampliación continúa, en el fondo de la cárcava se pueden formar gradas o caídas de agua por erosión diferencial de los diversos mantos. (Suarez,2001).

## TIPOS DE CARCAVAS

(Blunt y dorker, 1995; citado por Suarez, 2001). Se pueden identificar cuatro tipos de cárcava:

### 1. Cárcavas continuas alargadas.

No tienen cabeza con escarpe vertical importante esto ocurre en suelos granulares cohesivos, al deteriorarse la cobertura vegetal por acción de los surcos de erosión. Generalmente aumentan en ancho y profundidad talud abajo y pueden presentar sedimentaciones en sectores de menores pendientes.

Las cárcavas continuas llamadas también de socavación se profundizan en un proceso de erosión o lavado de las partículas del fondo del cauce. Generalmente, las partículas erosionadas son las arenas y los limos, permaneciendo en la cárcava las partículas de mayor tamaño. Las cárcavas continuas alargadas están asociadas frecuentemente con paisajes suavemente ondulados.



## 2. Cárcavas alargadas con escarpe vertical superior.

Ocurre en suelos cohesivos con cobertura de raíces; son retrogresivas con avance y fallas de los taludes resultante por esfuerzo al corte de volteo. En ocasiones se agrava el proceso por afloramiento de agua subterránea en el pie del escarpe formado, como es en el caso de la ciudad de Bucaramanga – Colombia s. f.

Inicialmente la cárcava se profundiza hasta lograr una pendiente de equilibrio por razones geológicas o propias del proceso erosivo y luego inicia un proceso de avance lateral y hacia arriba, mediante la ocurrencia de deslizamientos. La cabeza de la cárcava puede moverse hacia arriba como un resultado de la excavación en el pie del escarpe por la caída del agua desde la corona y por deslizamiento de taludes.

## 3. Cárcavas anchas.

Este sistema de cárcavas anchas es muy común en cortes de excavaciones para carreteras y ferrocarriles. El corte inicial es un talud con una determinada pendiente. El agua al correr sobre el talud genera una serie de surcos y pequeñas cárcavas dentro de una cárcava ancha que comprende una sección grande del corte. En la práctica el corte original de la vía es realizado a un Angulo superior al ángulo de estabilidad por erosión del talud y se genera un proceso progresivo del deterioro del talud, formándose un escarpe vertical y una nueva pendiente estable. La formación de cárcavas anchas es muy común en suelos residuales donde el material más superficial del perfil generalmente es más erosionable y al profundizarse la resistencia a la erosión aumenta. La pendiente estable a la erosión no corresponde a la pendiente estable para deslizamientos de tierra.

Generalmente la pendiente de reposo por erosión superficial es muy inferior a la pendiente de reposo por erosión en masa.

#### 4. Cárcavas ramificadas.

Ocurre con alguna frecuencia que las cárcavas alargadas formen cárcavas laterales creando un sistema de ramificación de la cárcava. Esta ramificación genera un proceso muy fuerte de denudación con generación de grandes cantidades de sedimentos para las corrientes.

### 2.4. PROBLEMÁTICA DE LA EROSIÓN EN CÁRCAVAS

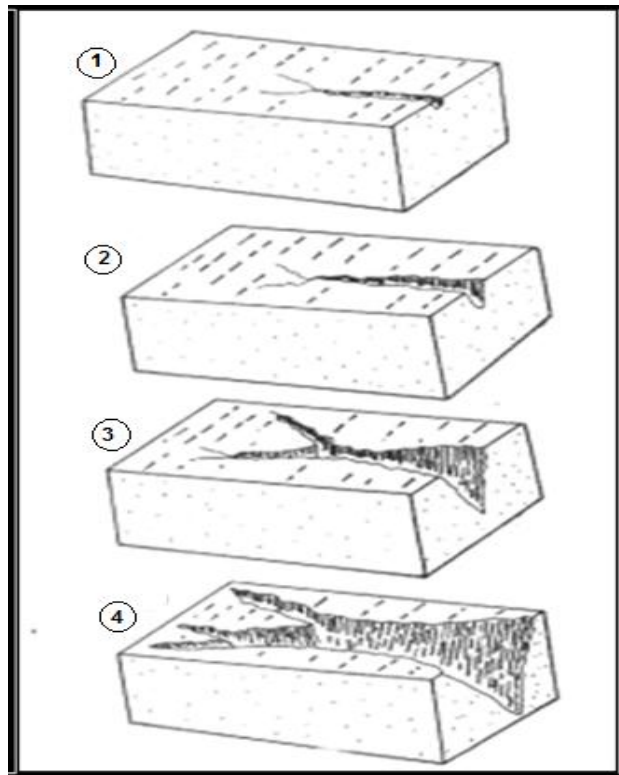
Rivera(2003), menciona que la erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende de las partes medias y alta de la cuenca, provocan asolvamiento de suelos agrícolas y de vías que existen en la parte baja.

El fenómeno erosivo se agrava cuando el caudal líquido provoca el abatimiento del lecho de una cárcava, presentándose una desestabilización de las márgenes, hasta que estas se desbarrancan y aportan nuevo material de arrastre.

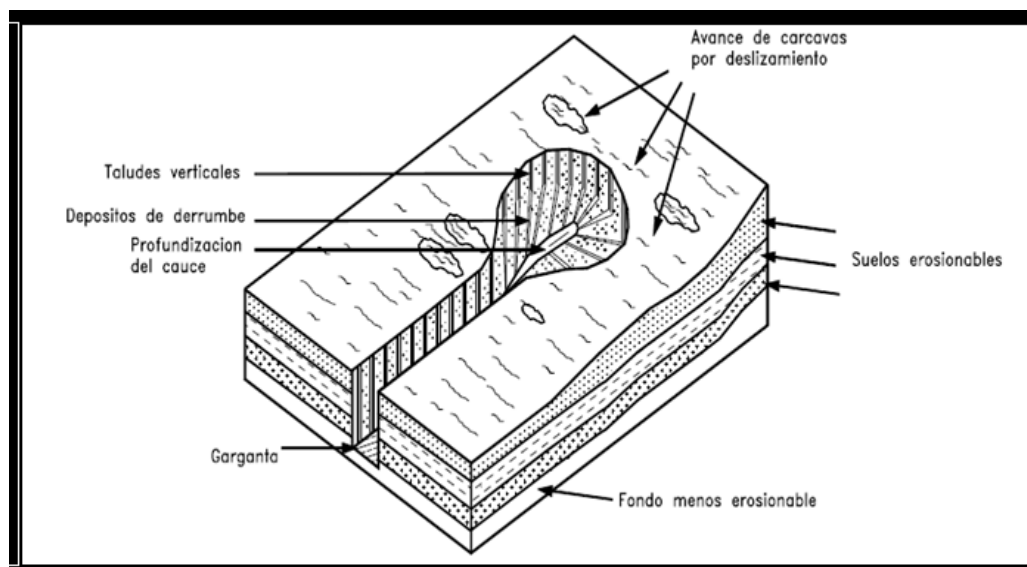
La erosión en cárcavas presenta una de las expresiones más impresionantes de la erosión de los suelos y por tal motivo merece atención primordial e inmediata, constituyen el estado más avanzado de la erosión y se caracterizan por su profundidad, que facilita el avance lateral y frontal por medio de desprendimientos de masas de material en los taludes de pendientes alta que conforman el perímetro de la cárcava.

Por lo general estas se inician a partir de que una gran parte del suelo superficial ha sido arrastrado a causa de una fuerte erosión laminar y en surcos. Al iniciarse el proceso de la formación de cárcavas se presenta el estado de surcado incipiente, donde el agua tiende a concentrarse para formar pequeñas corrientes que poco a poco convergen entre sí, para dar origen a otros de mayor anchura y profundidad, lo cual produce en el terreno diversas ramificaciones. Entonces, las cárcavas se originan por la concentración de los escurrimientos superficiales en determinados puntos críticos del terreno. La erosión por cárcavas se diferencia de la erosión laminar, en que el arrastre del suelo no manifiesta de una manera uniforme en toda la superficie del terreno, sino que en la remoción se hace en fajas relativamente angostas en dirección de la pendiente.

**Figura 10: Proceso de formación de una cárcava.**



Nota: [thh/www.monografias.com/trabajos17/carcavas/carcavas.shtml](http://thh/www.monografias.com/trabajos17/carcavas/carcavas.shtml))

**Figura 11: Características de las cárcavas**

Nota: <http://albatros.uis.edu.co/~pagina/profesores/planta/jsuarez/publicaciones/librotaludes/documento/capitulo01/CAP01.pdf>.

### 2.8.6. Clasificación de las cárcavas

Se acostumbra clasificar las cárcavas según su tamaño y el área que drenan; de acuerdo a la profundidad, se clasifican de la siguiente manera (Suarez,2001):

- Cárcavas pequeñas, aquellas cuya profundidad son menor de 1 metro.
- Cárcavas medianas, aquellas cuya profundidad varía de 1 a 5 metros.
- Cárcavas grandes, aquellas cuya profundidad es mayor de 5 metros.

**De acuerdo con el tamaño de área drenada o cuenca de distribución:**

- Cuenca pequeña, con superficie de drenaje menor de 2 hectáreas.
- Cuenca mediana, con superficie de drenaje de 2 a 5 hectáreas.
- Cuenca grande, con superficie de drenaje mayor de 5 hectáreas.

## 2.9. CONTROL DE LA EROSIÓN EN CÁRCAVAS

Suarez(2001). Controlar erosión en cárcavas es difícil. En muchos casos en los cuales han construido estructuras de concreto, gaviones de piedra o madera, estos han sido socavados y arrastrados por la cárcava, o en otros no ha modificado las causas básicas de la erosión y el proceso ha continuado. Si se logra distribuir las corrientes y evitar las concentraciones de grandes flujos se disminuye en forma importante la posibilidad de ocurrencia de cárcavas.

Hasta ahora el método más efectivo para el control de cárcavas es la vegetación con estructuras que favorezcan su crecimiento. Puede ser necesario usar métodos mecánicos, mallas, yute, fique, piedra o madera para controlar provisionalmente la erosión mientras se establece la vegetación. Generalmente se emplea una combinación de árboles de raíz profunda y hiervas. Adicionalmente debe controlarse las aguas mediante zanjas y canales.

Las cárcavas finalmente pueden convertirse en canales o corrientes de agua. La formación de cárcavas puede prevenirse en muchos casos utilizando prácticas conservacionistas en el uso de la tierra, especialmente con relación a la agricultura y ganadería.

Se debe evitar la concentración de aguas de escorrentía sobre zonas con cobertura vegetal deficiente. Adicionalmente, se puede construir estructuras amortiguadoras de energía en la corriente para

disminuir la velocidad del agua y en esta forma evitar la formación de cárcavas.

Es mucho más sencillo prevenir su ocurrencia que controlarla una vez que haya iniciado.

### **2.9.1. Estabilización de cárcavas activas.**

Suarez(2001). Para la estabilización de la erosión en cárcavas se está haciendo popular la práctica de las cuatro actividades:

1. Disminuir la velocidad y el caudal reduciendo el gradiente.
2. Detener el flujo utilizando sistemas de represamiento.
3. Desviar el flujo hacia áreas no peligrosas.
4. Disipar la energía utilizando estructuras o aumentando la sinuosidad y longitud del canal.

El principio fundamental del control de la erosión en cárcavas es determinar la causa directa del proceso y el mecanismo de desarrollo.

El segundo principio es el encontrar la forma de restaurar el balance y crear condiciones para la estabilización del proceso.

Suarez(2001). Los sistemas de estabilización más utilizados son los siguientes:

**a. Redireccionamiento de los flujos de agua.**

Cuando hay fuentes determinadas de los caudales de agua, la solución puede ser el redireccionar o controlar los flujos para que estos no pasen por la cárcava o por lo menos su caudal sea disminuido. Cuando no sea posible redireccionar los flujos se requiere construir obras para el manejo de los flujos dentro de la cárcava. Una vez controlados los flujos, se debe proceder a revegetalizar el fondo y taludes de la cárcava y estabilizar geotécnicamente los taludes.

**b. Canalización de la corriente.**

Los caudales pueden controlarse utilizando canales revestidos o tuberías para pasar por dentro o por fuera de la cárcava.

**c. Construcción de disipación de energía.**

Este sistema consiste en la construcción de vertederos o muros internos para la disminución de la pendiente del fondo de la cárcava. Una vez estabilizada la corriente se puede proceder a revegetalizar para lograr un efecto integral. La pendiente definitiva después de la construcción de la obra debe permitir la revegetalización.

**d. Revestimiento del fondo de la cárcava.**

El fondo de la cárcava puede revestirse utilizando productos especiales, sintéticos, gaviones, adoquines, de concreto, etc., en forma similar a como se revisten las riveras de los ríos. Para el

diseño de revestimientos se debe analizar las características de velocidad y turbulencia de las corrientes de agua dentro de la cárcava.

En estos casos se debe colocar un filtro o geotextil como protección debajo de los revestimientos.

Es muy difícil estabilizar cárcavas solamente con vegetación, debido a la intensidad y turbulencia de las corrientes de agua; sin embargo en el caso de cárcavas de pequeño pendiente (menos de 5%) y de gran ancho (más de 7 metros) es posible que una estabilización con vegetación pueda ser eficiente, siempre y en cuando los caudales máximos de agua no sean demasiado grandes. El establecimiento de la vegetación inicialmente es muy difícil por la presencia de corrientes de agua pero si estas se logran mejorar, pudiera establecerse la cubierta vegetal.

**e. Estructuras para el almacenamiento de agua arriba de la cárcava.**

En ocasiones se ha estabilizado cárcavas construyendo estructuras de almacenamiento de agua, aguas arriba de la cárcava con el objetivo de disminuir los caudales pico. Estas estructuras son comúnmente represas cuyo objetivo es demorar la esorrentía y luego liberarla poco a poco.

Debe tenerse en cuenta que si llegara a fallar el sistema se podrá producir un caudal mayor que el pico de diseño, causando graves problemas de erosión.



### 2.9.2. Estructuras de biotecnología y bioingeniería

**Bioteología:**(ingeniería biotécnica). Se refiere a las técnicas donde la vegetación es combinada con estructuras inertes de ingeniería como los gaviones, muros criba, rocas etc., en los cuales se combinan los efectos benéficos de la vegetación y otras obras de ingeniería. Ambos elementos biológicos y mecánicos deben funcionar juntos en una forma integrada y complementaria. Para el análisis de los elementos estructurales se debe tener en cuenta los principios de la estática y la mecánica y para la parte de la vegetación se deben tener en cuenta los principios de la ciencia de las plantas y la horticultura. El sistema biotécnico requiere que todos esos sistemas se integren. (Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez,2001).

**Bioingeniería:** Comprende el uso de la vegetación para la estabilización de taludes y el control de erosión. La bioingeniería de suelos es única en el sentido de que las partes de la planta por si misma ósea las raíces y el follaje funcionan como los elementos estructurales mecánicos para la protección del talud. Los elementos vivos se colocan en el talud en diversos sistemas de arreglos geométricos en tal forma que ellos actúan como refuerzo, como drenaje o como barreras para los sedimentos. Para el análisis de la bioingeniería se requiere tener en cuenta no solamente la ciencia de las plantas sino el comportamiento de los taludes y la mecánica de la erosión. (Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez, 2001).

### 2.9.2.1. MUROS DE PIEDRA VEGETALIZADOS

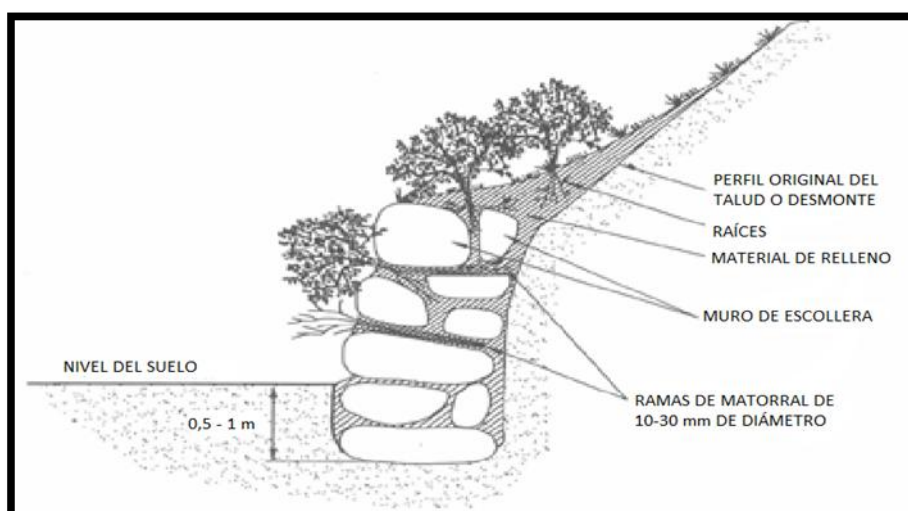
(Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez, 2001). El sistema de muros de piedra vegetalizados consiste en pantallas o muros construidos con piedra y suelo intercalando capas de ramas vivas. Este se utiliza para muros que no tengan más de 3.5 m de altura.

Para el diseño y construcción de muros de piedra vegetalizados se recomienda utilizar los siguientes criterios.

Construya una zanja bajando al nivel del suelo competente por debajo de la profundidad de la socavación.

- Rellene la zanja con bloques grandes de roca, rellenando los vacíos entre los bloques con suelo.
- Sobre la capa de la roca se coloca una capa de suelo de aproximadamente 15 centímetros y sobre esta una capa de ramas vivas.
- Sobre las ramas se colocan nuevamente una capa de suelo y se continúa con la colocación de capas de roca con suelo.

**Figura 12: Muros de piedra vegetalizados**



Nota: Suarez, 2001.

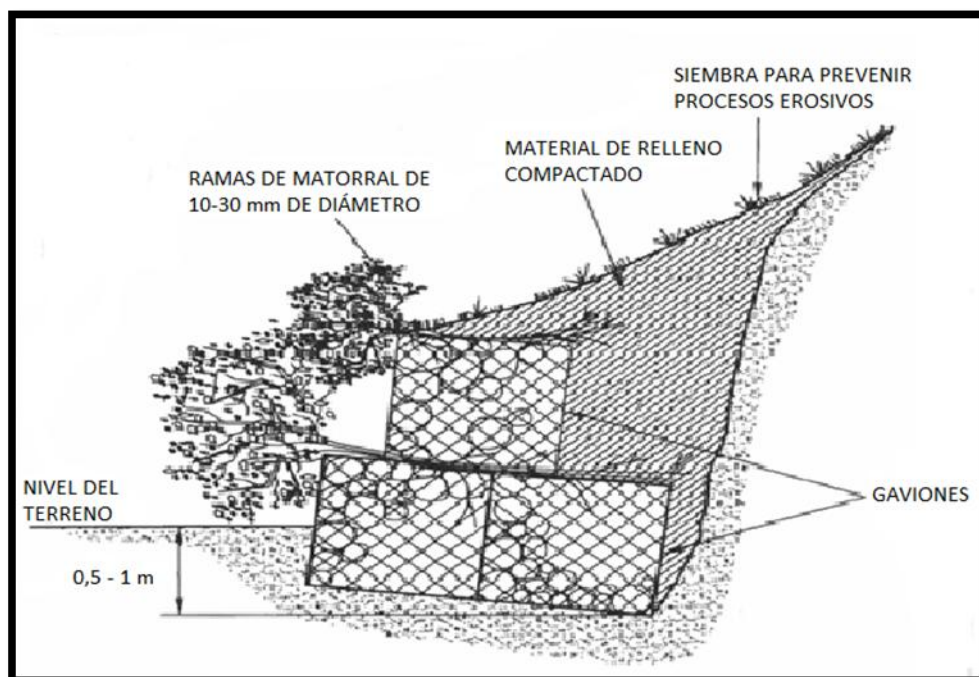
### 2.9.2.2. MUROS DE GAVIONES VEGETALIZADOS

(Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez, 2001). Los gaviones son cajas rectangulares de malla de alambre rellenas de cantos o bloques de roca. La vegetalización de los muros de gaviones consiste en la colocación de ramas largas entre niveles de muro, en tal forma que estas puedan enraizar en el suelo detrás del muro y sobresalgan a la superficie exterior del muro.

Para facilitar el crecimiento de la vegetación, los gaviones deben rellenarse con cantos y suelo.

El procedimiento de la construcción es la siguiente:

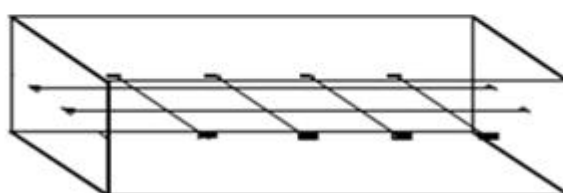
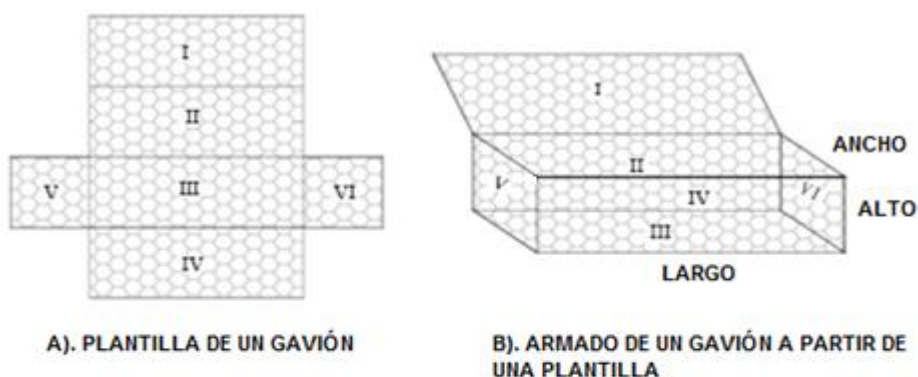
- Se construye el primer nivel de gaviones relleno con piedra y suelo.
- Se cierran las mallas, se colocan una capa de suelo y sobre ellas una capa de ramas. Sobre las ramas se colocan nuevamente una capa de suelo.
- Se construye el segundo nivel de gaviones y se continúa con los niveles restantes, siguiendo el mismo procedimiento.

**Figura 13: Muros de gaviones vegetalizados**

Nota: Suarez, 2001.

Los gaviones son contenedores de malla hexagonal de alambre galvanizado, de estructura flexible, permeable y monolítica que se usa para el control de drenaje, retención de azolves y control de escorrentías.

Así mismo, se usan como muros de retención, espigones, diques de disipación de energía, entre otras aplicaciones para la zona de estudio. Los gaviones rellenos con piedra (se recomienda cantos rodados), son elementos con volúmenes entre 1 y 4.5 m<sup>3</sup> por elemento. Las cajas de alambre propiamente ligadas, que forman bloques de construcción monolíticos denominados para la estabilización de pendientes en zonas pronunciadas altamente erosionables.



C). UBICACIÓN DE LOS TIRANTES PARA LOGRAR UN PARALELISMO ENTRE LAS CARAS OPUESTAS DEL GAVIÓN

Los gaviones son normalmente llenados con piedras o pedazos de piedra de 4" a 8" en forma mecánica o manual. El gavión ya relleno se convierte en un bloque grande de construcción permeable y flexible que serán utilizados para construir estructuras propuestas. Esto se hace colocando unidades juntas y amarrándolas con alambre y rellenándolas en el sitio.

Son características importantes de los gaviones:

**Flexibilidad:** Una de las ventajas importantes del gavión es su flexibilidad. Esto es importante sobre todo cuando la estructura está en terrenos inestables o en áreas con socavamiento en el terreno puntualmente en la cárcava.

**Durabilidad:** Los gaviones son muy durables y soportan el crecimiento de kikuyo u otras plantas, las cuales desarrollan un recubrimiento natural para el alambre y las piedras. Frecuentemente,

la canasta de alambre se requiere solo en los primeros años de la estructura, dado que el suelo y raíces rellenan los espacios vacíos y actúan como agentes de amarre para las piedras, poniendo estabilidad y consistencia en la estructura.

**Fuerza:** Las canastas amarradas con alambre tienen la fuerza y flexibilidad para soportar las fuerzas generadas por el agua y los movimientos en masa. También, la condición permeable del gavión le permite absorber y disipar la mayoría de la energía cinética que produce la caída del agua donde otras estructuras rígidas normalmente fallan.

**Permeabilidad:** Normalmente, las cargas hidráulicas no se desarrollan atrás del gavión con materiales de medianas dimensiones. La pared es filtrante al agua y estabiliza la pendiente por la acción combinada del drenaje y retención. El drenaje se logra por gravedad y evaporación debido a que la estructura porosa permite una circulación activa del aire y del agua. Más aun, conforme las plantas crecen invaden la estructura y la transpiración ayuda en forma adicional en la remoción de la humedad del relleno de suelo.

**Economía:** Las instalaciones de gaviones son más económicas (dependiendo de las dimensiones, un metro cúbico de gavión oscila entre los \$215 a los \$295) que la mayoría de las estructuras rígidas y semi-rígidas por varias razones. Las siguientes son algunas de las más importantes:

- Requieren poco mantenimiento
- Su construcción es simple, no requiere de mano de obra calificada.

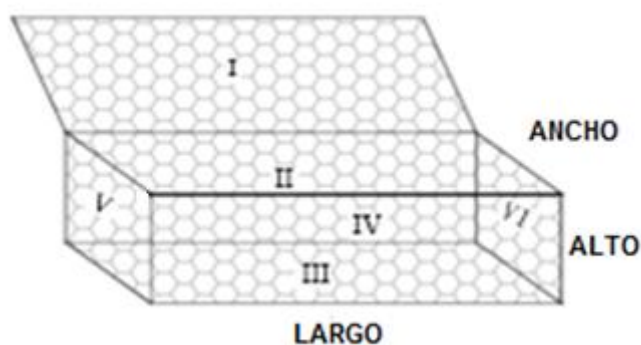
- No se necesita una preparación preliminar de cimientos, con una superficie bien nivelada y suavizada inicialmente es suficiente.
- No se requiere de un costo adicional para el drenaje.

Los planes de construcción y diseños de los gaviones deben ser preparados por profesionales familiarizados con su uso. El diseño de las obras de control de la erosión y la sedimentación debe asegurar que los cimientos soporten el peso de los gaviones y que estos no sean arrastrados, además se debe garantizar que la piedra usada sea durable con un coeficiente de abrasión alta y de buena resistencia a los agentes químicos que pueden presentarse y de tamaño adecuado para ser acomodada en las canastas o cajas.

La construcción de estructuras filtrantes a base de gaviones, es bastante efectiva, ya que logra controlar la erosión que se produce en la cárcavas, como consecuencia de eventos extraordinarios; pues disminuye el poder erosivo del caudal y su velocidad, a la vez que el material sólido en suspensión, queda atrapado en el paramento aguas arriba de la estructura logrando con esto una estabilización del cauce, dentro de la cárcava.

- **Características físicas de los muros de gaviones**

Son cajones rectangulares rellenos con cantos de 4" a 8" y los cajones son de las siguientes dimensiones más recomendables y comerciales:



**Cuadro 1: Dimensiones de los muros de gaviones.**

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
4	1	1
3	1	1
2	1	1
1.5	1	1

Nota:MACCAFERRI, 2010.

La vegetación de los muros de gaviones consiste en el trasplante del pasto, en tal forma que ésta pueda enraizar.

Para facilitar el crecimiento de la planta, los gaviones deben rellenarse con cantos rodados y suelo fértil de la zona.

### 2.9.2.3. COLCHONETAS DE GAVIONES VEGETALIZADOS

(Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez, 2001).Las colchonetas de gaviones consisten en cubiertas de poco espesor hechas con cajones y alambre galvanizado rellenas de cantos. Las colchonetas de gaviones vegetalizados se construyen siguiendo los mismos lineamientos de las colchonetas no



vegetalizados con la diferencia de que antes de llenar las mallas con cantos, se entierran estacas vivas que atraviesan la altura de la colchoneta y se entierran mínimo 60 cm por debajo de esta o de la capa de filtro. Una vez colocadas las estacas se rellenan las colchonetas de gaviones.

Las estacas vivas después de enraizar actúan como anclaje de la colchoneta.

Se utilizan generalmente rocas de 1" a 2.5" de diámetro y longitud suficiente para quedar enterradas y sobresalir por encima de la colchoneta. El espaciamiento entre estacas vivas depende de las necesidades del diseño y de la cubierta vegetal que se desee.

**Figura 14: Colchonetas de gaviones**



Nota: tesis, "erosión hídrica en la microcuenca San Pedro Huimillan", Querétaro, Qro, 2006.

### - Características físicas de las colchonetas de gaviones

Las colchonetas de gaviones consisten en cubiertas de poco espesor hechas con cajones y alambre galvanizado rellenas de cantos de 4" a 8". Las colchonetas son generalmente de las siguientes dimensiones recomendadas y comerciales:

**Cuadro 2: Dimensiones de las colchonetas de gaviones.**

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
4	1	0.30
3	1	0.30
2	1	0.50
4	2	0.30

Nota:MACCAFERRI, 2010.

La vegetación de las colchonetas de gaviones serán trasplantados. Para facilitar el crecimiento de la vegetación, los gaviones deben rellenarse con cantos rodados y suelo fértil de la zona (cárcava).

#### 2.9.2.4. REVEGETALIZACIÓN DE CÁRCAVAS

(Gray y Sotir, 1996; citado por Suarez, 2001).Las cárcavas son áreas de erosión acelerada caracterizadas por un flujo discontinuo y generalmente impredecible; sin embargo, la vegetación es una de las formas más eficientes de la protección. Generalmente, se utilizan barreras muy densas de especies con sistemas de raíces muy denso y profundo y baja altura de follaje.

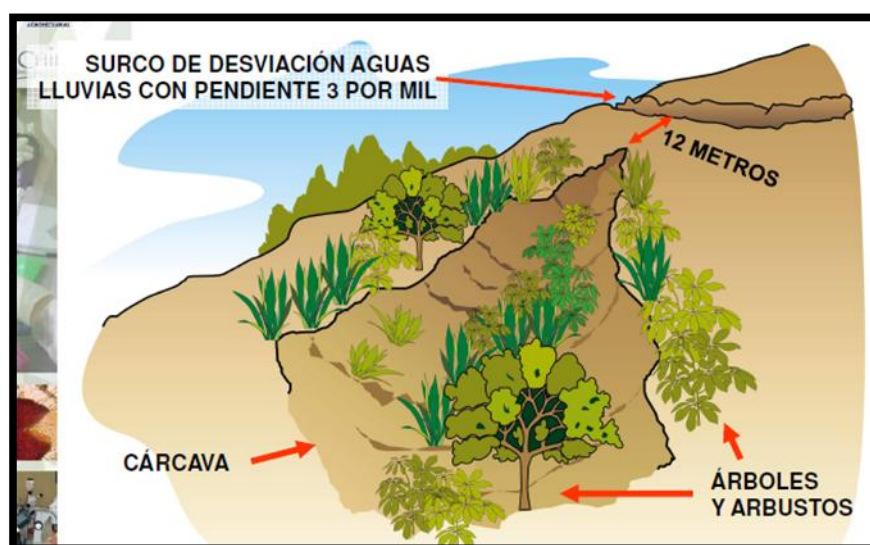
Se recomienda utilizar plantas de tallo flexible que se inclinen cuando ocurren grandes flujos, permitiendo una superficie suave para el paso del flujo.

No se recomienda la utilización de árboles porque estas con sus troncos restringen en flujo dentro de la cárcava y reduce la capacidad para el paso del agua, generando problemas de erosión dentro de la cárcava. La utilización de especies de raíz profunda como el pasto Vetiver puede ser la mejor alternativa.

Es muy común en cárcavas la construcción de trinchos o vertederos en el fondo del canal de la cárcava para modificar el gradiente hidráulico del canal y en esta forma controlas su profundización. Es importante colocar estas estructuras en los sitios críticos donde ocurren cambios bruscos de pendiente dentro de la cárcava, o donde exista actividad acelerada de la cárcava, especialmente donde esta trata de extenderse a áreas no erosionadas todavía.

Una vez seleccionadas estos sitios críticos, las estructuras restantes deben espaciarse garantizando una disminución de la pendiente de la cárcava. Entre estructuras deben construirse barreras de vegetación para lograr una protección integral de la cárcava.

**Figura 15: Vegetalización de cárcavas**



Nota: Instituto de Investigaciones Agropecuarias –Chile.

## 2.10. PASTO KIKUYO

Nombre científico: *PennisetumClandestinum*. Originado de los lagos de la provincia de kikuyo, Kenia, África.

Es una planta rastrera que forma una especie de colchón vegetal denso debido a la gran proliferación de estolones, dichos estolones se enraízan en los internodos y forman abundantes hojas que pueden tener una longitud de 60 cm, y la planta alcanza una altura de 40 cm. (Lobo y Sánchez, 2001)

**Figura 16: Cubierta vegetal del pasto kikuyo.**



Nota: Álvarez, 2001.

### 2.10.1. Adaptación y habito de crecimiento

Es la gramínea más común y mejor adaptado a nuestras zonas de clima frio llegándose a considerar por nuestro agricultor como un pasto nativo de la región, siendo originario de África. En Colombia se adapta bien entre los 2,200 a 3,200 m.s.n.m. No prospera muy bien en suelos pobres es tolerante a sequias pero muy

susceptible a heladas. No es exigente en cuanto a la humedad, siempre y en cuanto la precipitación supere los 750 mm anuales. Prefieren suelos de textura liviana, buena profundidad, buen drenaje y alta fertilidad. Las partes florales son muy inconspicuas, florece en las primeras horas de la mañana y en las horas de la tarde desaparece.

Las semillas se localizan en las axilas de las hojas donde quedan ocultas, de allí recibe el nombre de "*clandestinum*". Forma un césped denso lo cual lo clasifica dentro de las gramíneas de alta cobertura. (Álvarez, 2001).

#### **2.10.2. Uso**

Principalmente pastoreo y heno. (Álvarez, 2001).

#### **2.10.3. Establecimiento y fertilización**

Como mínimo dos meses antes de la siembra, debe tomarse una muestra de suelo donde se va a sembrar el pasto, para conocer su estado de fertilidad. Una vez conocida los resultados de análisis, se procede a determinar los correctivos y fertilizantes en la dosis más adecuada.

Como correctivos se vienen utilizando:

Cal dolomítica, fosforita Huila y calfos. Las dosis promedias de cal dolomítica son de 500 a 1000 kg/ha, mientras que la fosforita o calfos se están utilizando entre 300 a 500 kg/ha.

Estos materiales se aplican e incorporan al suelo mediante una rastrillada, luego se trazan surcos en el lote a una distancia de 50 a 100cm; se distribuyen a los estolones a chorro continuo y se

tapan con tierra; por semilla asexual. Las semillas permanecen viables en el suelo por mucho tiempo.

Se sabe que *enkikuyo* responde bien a la aplicación de nitrógeno; cuando se encuentra sembrado en mezcla con leguminosas como los tréboles (*trifoliumrepens*, *T patense*); y estos constituyen más del 30% de la mezcla, no se justifica aplicar nitrógeno. En suelos escaso de fosforo y potasio se aconseja hacer aplicaciones de fuentes de fosforo y potasio como calfos, rocas fosfóricas superfosfatos triples y cloruro de potasio

En investigaciones realizadas en Colombia se ha encontrado que inmediatamente después de la siembra, se aplica al voleo 150 kg/ha de fosfato diamonico(DAP). Un mes más tarde se hace en reabonamiento dadas anteriormente están basadas en las experiencias, advirtiendo que las dosis y grados de fertilizantes están sujetos a los resultados del análisis de suelos.

En los suelos lavados y pobres se hace el aporte de grandes cantidades de abono orgánico, (Porquinaza, gallinazo y estiércol de ovino), que completan la acción de los fertilizantes y mejorar las condiciones físicas del suelo y la retención de la humedad.(Álvarez, 2001).

#### **2.10.4. Control de malezas**

Debido al crecimiento rastrero y denso, las malezas no son problema serio cuando se hace manejo racional del potrero. Cuando no se maneja adecuadamente y se pastorea continuamente pude presentarse sobrepastoreo con la siguiente invasión de malezas especialmente legua de vaca (*Rumexobtusifolius*). (Álvarez, 2001).

### 2.10.5. Mantenimiento y manejo

El *kikuyo* se debe manejar adecuadamente para obtener una buena producción y una alta capacidad de carga. La investigación oficial y particular ha demostrado que en un programa de manejo de praderas, la práctica de la fertilización es la que produce los mejores resultados, en el más corto tiempo considerándose además que se da al ganado el alimento más adecuado para su crecimiento, sostenimiento y producción.

Resiste pastoreo continuo debido a su hábito de crecimiento, pero cuando está en mezcla con leguminosas debe pastorearse en rotación con periodos de descanso entre 6 a 9 semanas. Dependiendo de la humedad disponible. (Álvarez, 2001)

### 2.11. BROMUS UNIOLOIDES (“Cebadilla”)

Parece ser la misma especie que *Bromuscatharticus*, aunque se observa un polimorfismo sobre todo en el tamaño de la espiguilla y longitud de la arista. Según Hitchcock (1927); citado por Álvarez (2001). Las de los andes poseen espiguillas más cortas (1-1,5 mm) y aristas más largas (1-5 mm).

Son plantas erectas o ligeramente postradas, bianuales o perenes de vida corta, según se desarrollan en suelos ricos o de baja fertilidad las vainas varían desde glabras hasta pilosas; la lígula es oblonga, obtusa, hialina hasta 5 mm, láminas planas, algo laxas. Panícula abierta hasta 25 cm, de largo. Las espiguillas son de 6 – 12 mm, flocculadas.

Es una especie variable, regularmente apetecida por el ganado, sobre todo en estado tierno, rica en proteínas, calcio y fósforo, según Luces (1958); citado por Álvarez (2001), responde bien al abonamiento

nitrogenado, produciendo abundante semilla, que permite de esta manera reproducirse muy fácilmente. Prefiere suelos húmedos y se le encuentra en terrenos cultivados.

Está ampliamente distribuido desde Colombia hasta la Argentina, legando hasta 4300 msnm. Y ofrece muchas posibilidades en su mejoramiento.

Canales (1949); citado por Álvarez (2001), observa que *bromusunioloides* se seca con las primeras heladas en mayo y que muchas plantas presentan ataque de carbón en los granos.

La biología floral de esta especie ha sido estudiada para las condiciones de Argentina, según Ragonese (1941); citado por Álvarez (2001), encontrando posteriormente que la influencia del fotoperiodo permite que la especie pueda producir en forma facultativa flores chasmógamas o flores cleistógamas.

## 2.12. FESTUCA DOLICHOPHYLLA (“*Chilligua*”)

Los pastizales que están abiertos por ésta especie se llaman “*Chilliguas*” en el Perú.

Es una especie perenne, erecta, cespitosa, de 40-100 cm de alto, raíz fasciculada, fibrosa, con tallos cilíndricos. Hojas erguidas y firmes con vainas glabras de 20-30 cm, de largo por 6-7 mm de ancho. La lígura membranosa de 1 mm de largo es con el ápice pubescente. Láminas delgadas, filiformes, convolutas. La inflorescencia es una panícula estrecha de ramas erectas o ascendentes.



Es una planta de gran utilidad en el Altiplano, pues además de usarse como forraje, se le emplea en la confección de soguillas y en el techado de casas. (Masías, 1963; citado por Álvarez, 2001).

Se reconoce como una de las especies más difundidas y forrajeras de calidad, formando macollos. Esta condición puede ser un índice de la evolución de la pastura. Su presencia indica un suelo profundo. Su resistencia a la helada hace que sea palatable a medida que transcurre su periodo vegetativo. (Kalinowsky, 1969; citado por Álvarez, 2001).

La preferencia del ganado, en orden, es la siguiente: Vacuno, equino, ovino y alpacas.

### 2.13. SUELO

Jaramillo (2002). “Es la capa superior de la tierra donde se desarrollan las raíces de las plantas. Esta capa es un gran depósito y alimentos para las plantas, las cuales toman de esta capa los alimentos y el agua necesarios para crecer y producir cosechas”.

#### 2.13.1. Importancia del suelo

El hombre obtiene del suelo, a través de las plantas, la mayoría de sus alimentos y muchos materiales que utiliza para su abrigo y comodidad. (Jaramillo, 2002).

#### 2.13.2. Componentes del suelo

El suelo está compuesto de sustancias sólidas, agua y aire. Las sustancias sólidas, son los residuos de plantas, animales vivos o

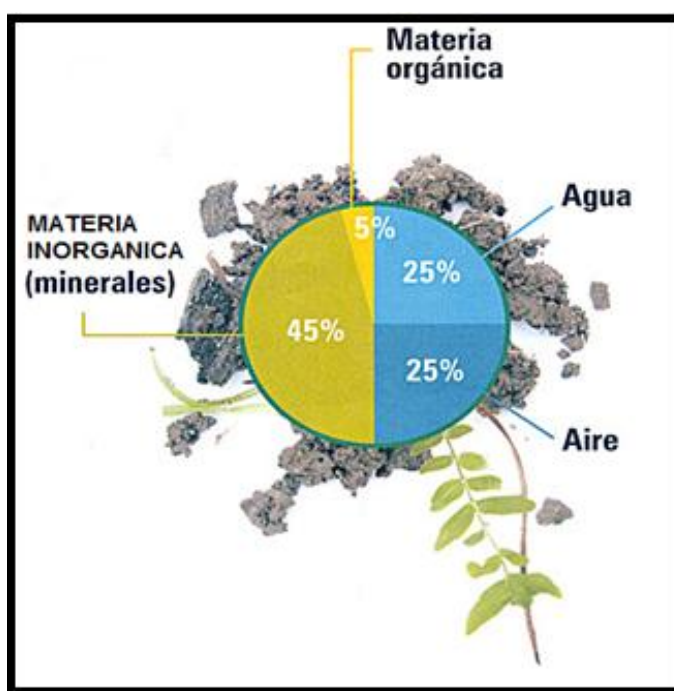
muestran y los minerales que proceden a la desintegración y descomposición de las rocas.

En el agua se disuelven los minerales del suelo para que las raíces de las plantas puedan tomarlos.

Jaramillo (2002), “sin aire en el suelo se muere las raíces de las plantas y los pequeños animales que viven en él”.

Estos se encuentran subdivididos y entremezclados de tal manera que el aire y el agua ocupa los poros que existen dentro de la fracción sólida.

**Figura 17:Componentes del suelo.**



Nota: Álvarez, 2001.

1) 50 % Fracción sólida:

- 45% Componentes minerales.
- 5% Componentes orgánicos.

2) 50 % Fracción no sólida:

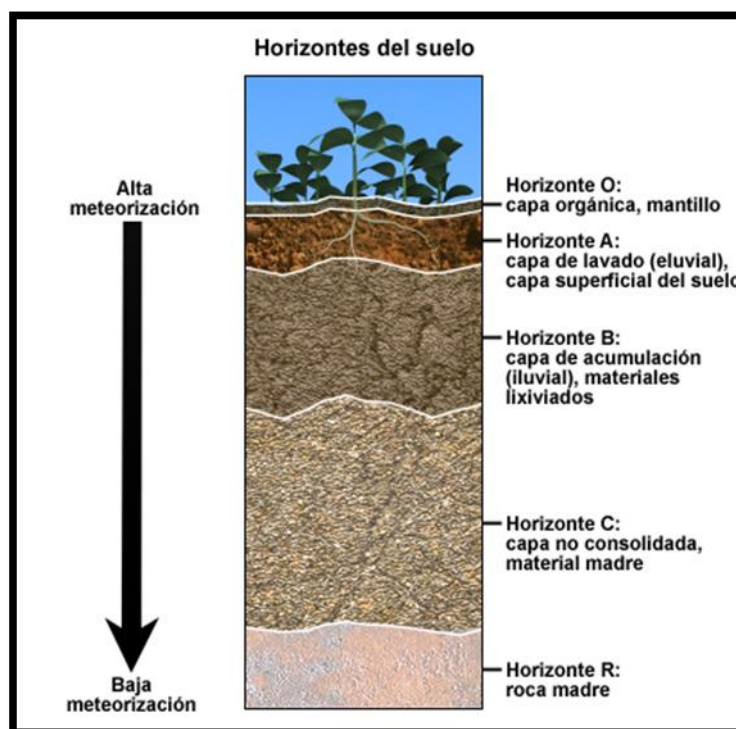
- 25% Aire.
- 25% Agua.

### 2.13.3. Perfil del suelo

Jaramillo (2002), “a medida que las partículas de la roca se desintegran y se mezclan con los residuos vegetales y animales, se forman las diferentes capas de suelo. Estas capas de suelo forman el perfil del suelo. Las distintas capas que vemos se llaman horizontes”.

Estas capas u horizontes tienen diferente color y tamaño y reciben los nombres de horizontes O, A, B, y C.

Figura 18: Perfil del suelo.



Nota: <https://www.google.es>

**El horizonte O**, es una capa delgada compuesta por las hojarascas de las plantas, desechos de animales etc., que están sin descomponer o en descomposición.

**El horizonte A**, es la primera capa que vemos de arriba hacia abajo. Es de color oscuro, porque tiene mucha materia orgánica y se ven muchas raíces vivas o muertas, lombrices, insectos y animales muy pequeños.

**El horizonte B**, es la segunda capa que vemos. Es de color más claro porque tiene menor cantidad de materia orgánica.

**El horizonte C**, es la capa que se muestra en la capa más baja del perfil del suelo y es de color más claro. (Jaramillo, 2002).

#### 2.13.4. Propiedades físicas del suelo.

Según el M.A.D.R. Colombia(2002). Las propiedades físicas del suelo son:

- |                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| a. Color.         | f. Profundidad efectiva. |
| b. Textura.       | g. Drenaje.              |
| c. Estructura.    | h. Densidad aparente.    |
| d. Porosidad.     | i. Densidad real.        |
| e. Permeabilidad. |                          |

##### a. Color.

- Los suelos de color más oscuro, generalmente son más ricos en materia orgánica.
- Los colores pardos, rojizos y amarillentos, indican que los suelos son bien aireados y no se encharcan.

- Los colores grises y manchados de verde azulado, indican que los suelos permanecen mucho tiempo encharcados.

#### b. Textura.

- La roca que forma el suelo se descompone y desmorona en partículas.
- Estas partículas son de diferente tamaño.
- Las más pequeñas se llaman arcillas, los intermedios limos y las más grandes se llaman arenas.
- Todo los suelos tienen arenas, limos y arcillas, pero en diferentes proporciones.
- La mezcla de las arenas, limos y arcillas se llama textura.

#### c. Estructura.

- Es la manera de cómo se unen las partículas para formar terrones.
- Cuando las partículas de suelo, están unidas en formas de láminas o lascas se dice que hay estructura laminar.
- Cuando las columnas tienen bordes angulosos, la estructura es prismática.
- Se dice que un suelo con buena estructura:
  - Fácil de cultivar.
  - No es arrastrado fácilmente por la lluvia ni por el viento.
  - El aire y el agua penetra muy bien.
  - Las raíces de las plantas tienen buen desarrollo.

## d. Porosidad.

- Está compuesta por los poros o pequeñas cavidades que existen en el suelo.
- Por estas cavidades o poros penetran el aire y el agua.
- En los suelos que tienen partículas grandes como las arenas, los poros son grandes y en el agua y el aire penetran fácilmente.
- En los suelos que tienen partículas más pequeñas como las arcillas, los poros son muy pequeños. El agua y el aire no penetran con facilidad.

## e. Permeabilidad.

- Es la facilidad con que el agua y el aire se mueven dentro del suelo.
- Los suelos que se encharcan tienen permeabilidad muy lenta.

## f. Profundidad efectiva.

Es la profundidad hasta donde llagan, sin tropiezo, las raíces de las plantas en busca de agua y alimentos. Los tropiezos o limitaciones que encuentran las raíces para penetrar son:

- Capas endurecidas.
- Piedras o rocas.
- Agua.
- Sales dañinas.

1. En un suelo profundo

Las raíces de las plantas penetran hasta un metro sin tropiezos de ninguna clase.

2. En un suelo muy superficial

Las raíces de las plantas penetran muy poco, porque encuentran:

- Agua muy cerca de la superficie.
- Rocas y piedras.
- Capas endurecidas.
- Sales dañinas.

g. Drenaje.

Es la rapidez con que los suelos se secan después de un aguacero.

**Hay drenaje interno y drenaje externo**

1. drenaje interno.

- Es la rapidez con que el agua se mueve dentro del suelo.
- En los suelos arcillosos, el agua se mueve muy lentamente. Porque estas aumentan el volumen de la masa.

2. Drenaje externo.

- Es la rapidez con que el agua se escurre por la superficie del terreno.

- Cuando en un aguacero el agua no penetra en el suelo, o lo hace lentamente, corre sobre la superficie del terreno hasta llegar a un arroyo o un río.
- Esta agua se llama de escurrimiento o escorrentía, es la que arrastra las partículas de suelo.

#### h. Densidad aparente.

La densidad aparente, es la medida en peso del suelo por unidad de volumen (g/cc). La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas así como por la porosidad de los suelos. Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo cierta proporción de dicho volumen está ocupada por el material del suelo (Aguilera, 1989; citado por Jaramillo, 2002). El resto lo constituyen espacios intersticiales que, en condiciones ordinarias de campo, están ocupados en parte por agua y en parte por aire. El peso de la unidad de volumen de suelo con espacios intersticiales es lo que da la densidad aparente (Wooding, 1967; citado por Jaramillo, 2002).

Casi todos los suelos minerales tienen una densidad aparente que varía de 0.4 a 2.0 g/cc. La densidad aparente es importante para estudios cuantitativos de suelo. Los resultados de las densidades aparentes son fundamentales para calcular los movimientos de humedad, los grados de formación de arcilla y la acumulación de los carbonatos en los perfiles de suelo, Los suelos orgánicos tienen muy baja densidad aparente en comparación con los suelos minerales (Aguilera, 1989; citado por Jaramillo, 2002).



#### i. Densidad real.

Un medio de expresión del peso del suelo se manifiesta según la densidad de las partículas sólidas que lo constituye. Normalmente se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen de sólidos del suelo y es llamada densidad de la partícula; aunque pueden observarse variaciones considerables en la densidad de los suelos minerales, individuales; la mayor parte de los suelos normales varían entre los límites estrechos de 2,60 a 2,7 g/cc. Debido a que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de ese constituyente en un suelo afecta marcadamente a la densidad de partículas. Como consecuencia, los suelos superficiales poseen generalmente una densidad de partículas más baja que la del subsuelo. La densidad más alta en estas condiciones, suele ser de 2,4g/cc. También se le define como el peso de un volumen conocido comparado con el peso de volumen igual de agua (Buckman y Brady, 1966; citado por Jaramillo, 2002).

#### **2.13.5. Propiedades químicas del suelo**

Según el M.A.D.R. Colombia (2002). Los más importantes son: pH, Fertilidad y Materia Orgánica del suelo.

En los suelos ácidos muy pocos alimentos son tomados por las raíces de las plantas. En este tipo de suelos la producción de las cosechas es muy baja.

#### a. pH. DEL SUELO.

Una de las características del suelo más importantes es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad (buckman y brady, 1966; citado por Jaramillo, 2002).

Por lo general la acidez del suelo es común en todas las regiones donde la precipitación es alta, lo que ocasiona la lixiviación de grandes cantidades de bases intercambiables de los niveles superficiales de los suelos; en este caso, la solución del suelo contiene más iones hidrógeno ( $H^+$ ) que oxidrilos ( $OH^-$ ). Los suelos alcalinos son característicos de las regiones áridas y semiáridas; la alcalinidad se presenta cuando existe un alto grado de saturación de bases.

Existen dos grupos de factores que provocan cambios en el pH del suelo: (a) los que resultan del aumento del hidrógeno adsorbido y (b) los que aumentan el contenido de bases adsorbidas. Uno de los factores que provocan la acidez en el suelo es la descomposición de la materia orgánica ya que se forman ácidos tanto orgánicos como inorgánicos.

Cualquier proceso que pueda aumentar el contenido de bases intercambiables como el Ca, Mg, K y Na, contribuirá a la reducción de la acidez y aumento de la alcalinidad.

Uno de los procesos de formación de bases es el intemperismo ya que extraen cationes cambiabiles de los

minerales y los hacen aprovechables por adsorción. Otro proceso es la adición de materiales que contienen bases tales como las calizas; las aguas de riego son otro factor ya que el agua contiene sales minerales de diferente tipo, siendo sus cationes adsorbidos por los coloides del suelo. Las condiciones que permiten a las bases intercambiables permanecer en el suelo aumentarán también los valores de pH (buchkman y brady, 1966; citado por Jaramillo, 2002).

Algunas de las fluctuaciones de pH ocurren durante las diferentes estaciones del año, por ejemplo durante el verano el pH de los suelos minerales tiende a disminuir sobre todo bajo cultivo, debido a los ácidos producidos. En invierno y primavera se observa un aumento del pH, seguramente a causa de las actividades bióticas. Como resultado, la influencia de la alcalinización de la solución tenderá a aumentar el pH. Los microorganismos del suelo son influenciados por las fluctuaciones de la reacción de la solución del suelo. Las bacterias y los actinomicetos funcionan mejor en suelos minerales con pH intermedios y elevados, siendo su actividad muy reducida cuando el pH desciende por debajo de 5.5. Un suelo con pH intermedio, por ejemplo de 6 a 7, es el que presenta mejor régimen biológico, ya que las condiciones nutrientes son favorables sin ser extremas y la asimilación del fósforo está en el máximo (Porta, 2003).

**Cuadro 3: Clasificación de los suelos según el valor del pH**

Rango (pH)	TERMINO DESCRIPTIVO
< 4.5	Extremadamente Ácido
4.5 – 5.5	Fuertemente Ácido
5.6 - 6	Medianamente Ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente Ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 – 7.8	Medianamente Básico
7.9 – 8.4	Básico
8.5 – 9	Ligeramente Alcalino
9.1 – 10	Alcalino
>10	Fuertemente Alcalino

Nota: Departamento de suelos y fertilizantes UNALM – Lima, 2001.

#### b. FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Un suelo fértil es el que tiene buena cantidad de alimentos para las plantas. Estos alimentos se llaman nutrientes. Los nutrientes que las plantas necesitan en mayor cantidad para su crecimiento y fructificación son:

1. Nitrógeno.
2. Fósforo.
3. Potasio.

Estos son los macronutrientes que necesitan todas las plantas para que tengan un buen desarrollo.

##### 1. Nitrógeno (N).

Álvarez (2002), menciona que el "N se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las

plantas, microorganismos como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Debido a que la solubilidad de los compuestos nitrogenados es alta, su disponibilidad para las plantas y microorganismos normalmente también es alta bajo determinadas condiciones, por ej. Si el estado de oxidación es el adecuado. La estrategia central para la nutrición nitrogenada se basa en "optimizar el balance de nitrógeno en el suelo", maximizando las entradas y minimizar las salidas, las que varían según”:

- Cultivo.
- Suelo.
- Fertilización.
- Nivel de materia orgánica.
- Prácticas agronómicas.

#### **Entradas de N al suelo:**

Fijación biológica.

Este proceso consiste en capturar nitrógeno del aire en forma de  $\text{N}_2$  y transformarlo en  $\text{NH}_3$  -  $\text{NH}_4^+$ .

#### **Pérdidas de N:**

- Lixiviación.
- Volatilización.
- Cosecha.
- Erosión.

El mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan: bacterias, hongos.

El Nitrógeno:

- Ayuda al buen crecimiento de las plantas.
- Da el color verde a las hojas.
- Las plantas dan buenas cosechas.

**Cuadro 4: Niveles del Nitrógeno**

Nivel	%
Bajo	< de 0.1
Medio	0.1– 0.2
Alto	>de 0.2

Nota: Departamento de suelos y fertilizantes UNALM - Lima, 2001.

## 2. Fósforo (P).

Álvarez (2002), menciona “Luego del N es el macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos”.

- Interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular.
- Contribuye a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas.
- Incrementa la eficiencia del uso del agua.
- Contribuye a la resistencia de algunas plantas a enfermedades.

Desde un punto de vista práctico, interesa conocer las entradas y salidas de P del sistema suelo-planta y cómo es la movilidad del nutriente en el suelo.

#### Las entradas:

- Agregado de fertilizantes con fuentes de fósforo.
- Fósforo orgánico o inorgánico.

#### Las salidas:

- Extracción por el cultivo.
- Erosión.
- Escurrimiento.
- Lixiviación.

#### Además:

- Ayuda al buen crecimiento de las plantas.
- Ayuda a formar raíces fuertes y abundantes.
- Contribuye a la formación y maduración de los frutos.
- Es indispensable en la formación de las semillas.

**Cuadro 5: Niveles del Fosforo disponible**

nivel	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)
Bajo	< de 7	<de 50
Medio	7 – 14	50 – 80
alto	>de 14	>de 80

Nota: Departamento de suelos y fertilizantes UNALM - Lima, 2001.

## 3. Potasio (K).

Álvarez(2002).El K.

- Ayuda a la planta a formar tallos fuertes y vigorosos.
- Ayuda a la plantas a la formación de azúcares, almidones y aceites.
- Da a la planta resistencia a las enfermedades.
- Mejora la calidad de las cosechas.

**Cuadro 6: Niveles del Potasio disponible**

Nivel	%
Bajo	< de 272
Medio	272– 400
Alto	>de 400

Nota: Departamento de suelos y fertilizantes UNALM - Lima, 2001.

## c. MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, que se obtiene de la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la microflora y la fauna (Bornemisza, 1982; citado por Jaramillo, 2002).



**Cuadro 7: Niveles de la Materia Orgánica**

Nivel	%
Bajo	< de 2
Medio	2 – 4
Alto	>4

Nota: Departamento de suelos y fertilizantes UNALM - Lima, 2001.

Los procesos químicos en los que interviene la materia orgánica son:

- 1.- El suministro de elementos nutritivos por la mineralización en particular la liberación de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes disponibles para las plantas.
- 2.- La estabilización de la acidez del suelo por su poder amortiguador.
- 3.- La contribución a la capacidad de cambio catiónico de los suelos, importante para los suelos de textura arcillosa de tal capacidad de cambio y elevada retención de cationes.
- 4.- La regularización de los niveles de disponibilidad de nutrientes principales y de elementos menores mediante la formación de sustancias orgánicas que constituyen compuestos solubles, no iónicos (complejos internos) con cationes de valencia variable, Estas sustancias llamadas “quelatos”, móviles en el suelo, son también importantes en los procesos edafogénicos. Se

sabe que los ácidos orgánicos del suelo influyen de manera apreciable en la solubilización y movilización de componentes inorgánicos (Bornemisza, 1982; citado por Jaramillo, 2002).

#### 5.- Los fenómenos de absorción.

La materia orgánica también afecta algunas propiedades físicas muy importantes del suelo como:

- La estructura del suelo; favoreciendo la formación de agregados individuales, reduciendo la agregación global del suelo y disminuyendo la plasticidad del mismo.
- El uso más eficiente del agua; se sabe que la materia orgánica mejora la infiltración del agua en el suelo (Bornemisza, 1982; citado por Jaramillo, 2002).

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

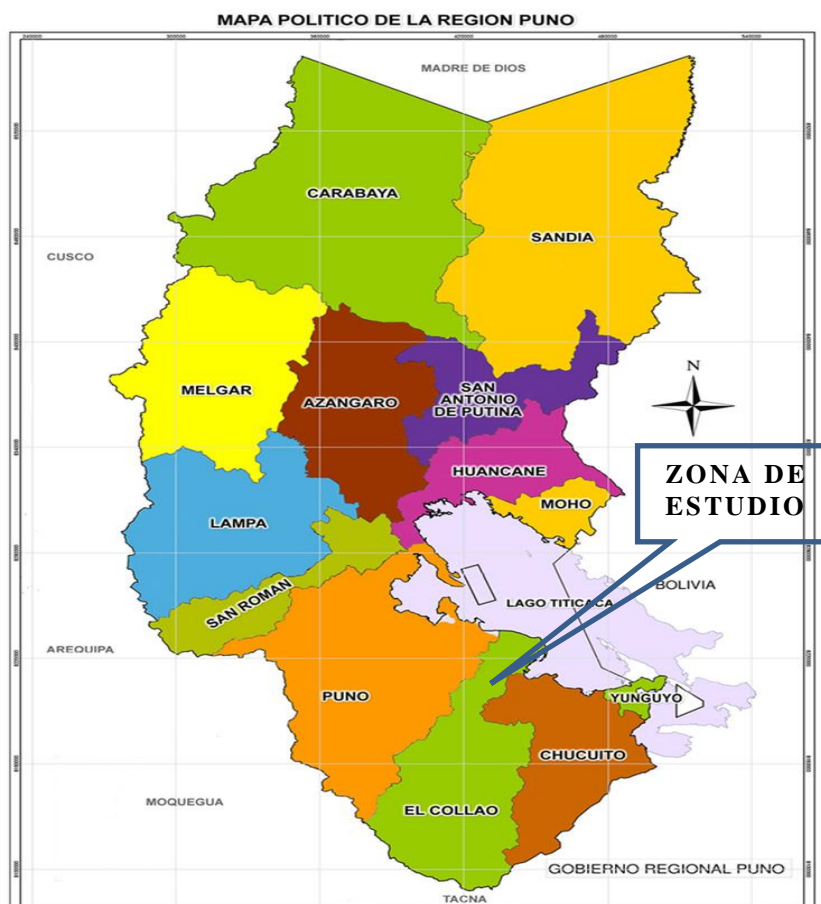
### 6.1. ÁREA DE ESTUDIO

#### 3.1.7. Ubicación geográfica

La comunidad de Challacollo se encuentra ubicada geográficamente, según el siguiente detalle:

- Cuenca : Lago Titicaca
- Sub Cuenca : Río Huenque
- Sistema Integral Hídrico : Lago Titicaca.
- Región Natural : Sierra (Altiplano de Puno)
- Altitud : 3,854 a 3,888 msnm.

**Figura 19: Macro localización de la zona de estudio.**

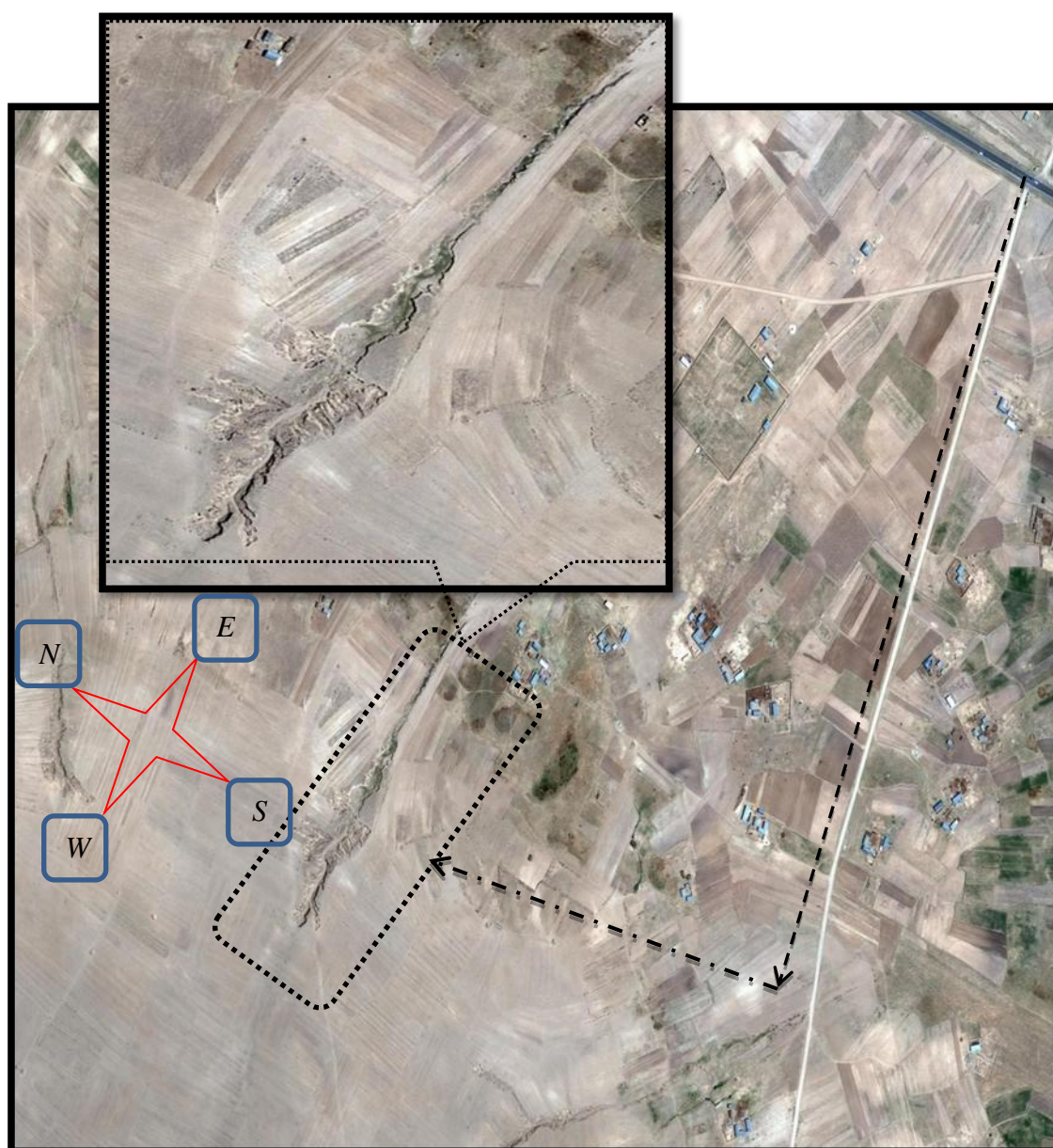


### 3.1.8. Ubicación política

La zona de estudio, se encuentra ubicada en:

- Departamento : Puno.
- Provincia : El Collao.
- Distrito : Ilave.
- Comunidad : Challacollo.

**Figura 20: Micro localización de la zona de estudio.**



Nota: Google earth, 2012.

### 3.1.9. Accesibilidad

Desde la capital de la región se accede por la carretera asfaltada pasando los pueblos de Chucuito, Platería, Acora y luego se desvía antes de llegar a la ciudad de Ilave a unos 5KM, por la comunidad de Piñutani, por una carretera trocha carrózale hasta la zona de estudio. Las accesibilidades a la zona del estudio, se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 8: Cuadro de distancias de ubicación.**

TRAMO	DISTANCIA (KM)	TIEMPO (MIN)	TIPO DE VIA	VIA PRINCIPAL
1	Puno-Ilave	52	Asfaltado	Puno-Desaguadero
2	Ilave-challacollo	5	Trocha Carrosable	Ilave-Totorani

## 6.2. MATERIALES Y EQUIPOS

### 3.1.10. Materiales

- Fichas para toma de muestra de suelo.
- Útiles de escritorio (papel bond de 80 gr., cuadernos, tóner para las impresiones, lapiceros, lápices, resaltador).
- Mesa de trabajo.
- Libreta de topografía.
- Tablero de hoja.

### 3.1.11. Equipos

- Estación total, Prisma y GPS

- Pie de rey.
- Computadora e impresora.
- Wincha de 50 metros.
- Calculadora.
- Flexómetro y cinta métrica.
- Plotter.

#### **3.1.12. Servicios**

- Análisis de suelo en laboratorio.
- Levantamiento topográfico.
- Traslado hasta la zona de estudio en vehículo.

### 6.3. METODOLOGÍA

#### **3.3.1. Identificación de la cárcava para el estudio en la comunidad de challacollo.**

Se realizó la identificación de la cárcava más grande, en la comunidad de Challacollo, para el respectivo estudio. En el cual se diagnosticó con el apoyo de un poblador, cárcavas en diferentes lugares de la comunidad y zonas aledañas, por lo que se optó la cárcava más vulnerable para el estudio, tomando dimensiones aproximadas con una wincha:

#### **3.3.2. Levantamiento topográfico.**

Se realizó el levantamiento topográfico con estación total, para analizar y localizar los procesos de carcavamiento en las progresivas más representativas de las secciones de la cárcava, además para determinar las dimensiones, con programas Civil Cad, Auto Cad y Exel:

1. Longitud de la cárcava.
2. Ancho promedio de la cárcava.

### 3. La altura promedio de la cárcava.

#### 3.3.3. Descripción de la cárcava.

Se realizó la descripción de la cárcava, con respecto al tamaño, si es pequeña, mediana o grande según clasificación, tipo de cárcava, tipos de erosión y mecanismos de la formación que se presentan en tres progresivas de la cárcava, en función a ello se planteó los parámetros que se deben controlar en los tres procesos de cárcavamiento y establecer en gabinete, que estructuras de biotecnología tiene buenas condiciones para el control de los diferentes tipos de erosión y mecanismos de la formación de cárcavas.

#### 3.3.4. Toma de datos físicos de las vegetaciones de la zona.

Se realizó la recopilación de datos físicos en una hectárea de suelo con la presencia de las tres vegetaciones, en la comunidad de Challacollo subdivididas en cuatro parcelas escogidas al azar de 1 m<sup>2</sup> por cada vegetación, las cuales son: *Pennisetum clandestinum*, *Bromus unioloides* y *Festuca dolichopilla*, en la que se tomaron los datos físicos siguientes, que desarrollaron las vegetaciones mencionadas hasta el mes de diciembre del 2012:

1. Número de plantas. El conteo de plantas por 1 m<sup>2</sup>, se realizó en las cuatro parcelas por cada vegetación, mediante el conteo directo.
2. Longitud de hojas. La medición de la longitud de hojas por vegetación se realizó en la parcela dos, de cada vegetación, tomando veinte hojas al azar y midiendo con la cinta métrica en cm.

3. Ancho máximo de hoja. La medición del ancho máximo de hojas por vegetación se realizó en la parcela tres, de cada vegetación, tomando veinte hojas al azar y midiendo con el calibrador en mm.
4. Diámetro de tallos. La medición del diámetro de tallos por vegetación se realizó en la parcela cuatro, de cada vegetación, tomando veinte tallos al azar y midiendo con el calibrador en mm.
5. Numero de tallos por parcela. El conteo del número de tallos por vegetación, se realizó en las cuatro parcelas de cada vegetación, mediante el conteo directo.
6. Numero de hojas por tallo. El conteo del número de hojas por tallo de cada vegetación se realizó en la parcela número uno, tomando veinte tallos al azar y contando directamente el número de hojas existentes en un tallo.
7. Densidad promedio de hojas por parcela. La obtención de la densidad de hojas por vegetación en cada parcela, se basa en la multiplicación del número de tallos obtenidos mediante el conteo directo en cada parcela, por el promedio de las hojas por tallo obtenidos en la parcela número dos, de cada vegetación.
8. Longitud de raíces. La medición de la longitud de raíces por vegetación se realizó en la parcela dos, de cada vegetación, tomando veinte raíces al azar y midiendo con la cinta métrica en cm.



9. Diámetro de raíces. La medición del diámetro de raíces por vegetación se realizó en la parcela número tres, de cada vegetación, tomando veinte raíces al azar y midiendo con el calibrador en mm.
  
10. Densidad de raíces. La densidad de raíces por vegetación se obtuvo en todas las parcelas de cada vegetación, mediante el conteo directo.

Luego de realizar todas las mediciones y conteos directos de los diez parámetros físicos de las vegetaciones establecidos, se realizó matriz de resumen de resultados marcando con una “x”, la vegetación que tiene mejores características físicas, haciendo una sumatoria de estos parámetros por vegetación para llegar a una conclusión.

### **3.3.5. Toma de muestras de suelo.**

Se realizó dos tomas de muestra de suelo en la comunidad de Challacollo para el análisis físico y químico del suelo, en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, para evaluar las condiciones que presenta cada uno de las muestras de suelo, para el trasplante de la vegetación a la cárcava, en los siguientes parámetros más importantes que requiere una vegetación: Humedad (H), Potencial de hidrogeniones (pH), contenido de Materia orgánica (M.O), Nitrógeno, Fosforo (P), Potasio (K), Textura del suelo (T). Para el análisis comparativo de muestras, de las dos zonas.

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
Nº 01	Zona donde existe la vegetación con buenas características físicas.
Nº 02	Zona de la cárcava más vulnerable.

### 3.3.6. Trabajo en gabinete

Las estructuras de biotecnología se analizaron específicamente para tres procesos de carcavamiento (fondo, lateral, cabeza de cárcava), en función a los parámetros que se describieron en cada proceso. Los cuales se analizaron comparativamente desde el punto de vista de los materiales y sus características. Para así de esta manera en función a éste análisis se plantearon estructuras de biotecnología que controlan y/o disminuyen con eficiencia los parámetros que se presentan en cada proceso de carcavamiento. Además se realizó un análisis de datos meteorológicos para las dos zonas:

#### 3.3.6.1. Estructuras de biotecnología para el control de erosión hídrica

Se enumeraron las estructuras de biotecnología que se seleccionaron de acuerdo a los criterios del tesista mencionados anteriormente. Para facilitar la metodología se generó un cuadro de matriz para realizar un análisis comparativo, de la siguiente manera:

**Columnas:** Estructura N°01, Estructura N°02, ..., Estructura N° n.

**Filas:** Parámetro N°01, Parámetro N°02, ..., Parámetro N° n.

Luego se generó tres cuadros para las respectivas comparaciones de parámetros a controlarse y estructuras de

biotecnología, luego se realizó el análisis comparativo de la siguiente manera (fila 01, Columna 01; fila 02, Columna 02;...; fila n, Columna n.), posteriormente fueron marcadas con una “X”, estructuras que favorecen el control o disminución de los parámetros que se presentan en cada proceso de carcavamiento.

**Cuadro 9: Cuadro para el análisis de control de los tres procesos de carcavamiento, en progresivas.**

Parámetros que se presentan en cada proceso de carcavamiento		ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA			
		1	2	...	n
		Estructura N°01	Estructura N°02	...	Estructura N° n
1	Parámetros N°01				
2	Parámetros N°02				
3	Parámetros N°03				
⋮	⋮				
N	Parámetros N°n				
TOTAL					

**1. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CUADRO.**

a) **Fila 01, Columna “Y”;** donde Y= 1, 2,3...n.

- (Parámetro N°01, Estructura N°01)
- (Parámetro N°01, Estructura N°02)

.

- .
- .
- (Parámetro N°01, Estructura N° “n”)

b) **Fila 02, Columna “Y”**; donde  $Y = 1, 2, 3, \dots, n$ .

- (Parámetro N°02, Estructura N°01)
- (Parámetro N°02, Estructura N°02)
- .
- .
- .
- (Parámetro N°02, Estructura N° “n”)

c) **Fila 03, Columna “Y”**; donde  $Y = 1, 2, 3, \dots, n$ .

- (Parámetro N°03, Estructura N°01)
- (Parámetro N°03, Estructura N°02)
- .
- .
- .
- (Parámetro N°03, Estructura N° “n”)

d) **Fila “n”, Columna “Y”**; donde  $Y = 1, 2, 3, \dots, n$ .

- (Parámetro N° n, Estructura N°01)
- (Parámetro N° n, Estructura N°02)
- .
- .
- .
- (Parámetro N° n, Estructura N° “n”)

**3.3.6.2. Evaluación de las vegetaciones.**

a. Características físicas evaluadas en cada vegetación en los siguientes cuadros.

Las características físicas de la vegetación son diez:

1. Número de plantas.
2. Número de tallos.
3. Densidad de hojas.
4. Densidad de raíces.

**Cuadro 10: Cuadro de parcelas, Challacollo, diciembre, 2012.**

Parcelas de 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	(1,2,3,4)		
Parcela 1			
Parcela 2			
Parcela 3			
Parcela 4			
<b>Promedio</b>			

5. Longitud de hojas.
6. Ancho máximo de hoja.
7. Diámetro de tallos.
8. Numero de hojas por tallo.
9. Longitud de raíces.
10. Diámetro de raíces.

**Cuadro 11: Cuadro para datos, Challacollo, diciembre, 2012.**

Número de hojas medidas al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	(5,6,7,8,9,10)		
1			
2			
20			
<b>Promedio</b>			

- b. Las características climáticas (temperatura y precipitación) se basaron en una guía de aprendizaje, físicas y químicas del suelo, se analizaron comparativamente los resultados del laboratorio de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, de las dos muestras en los siguientes factores: Suelo (Humedad (H), Potencial de hidrogeniones (pH), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Textura (T)).

**Cuadro 12: Parámetros climáticos, Challacollo, 2012.**

		Nombre de la variable		Zona N°01	Zona N°02	Unidad de medida
<b>Factores climáticos</b>	1	PpT	Precipitación promedio total			mm
	2	T°	Temperatura (máx.-min)			°C

**Cuadro 13: Parámetros de Suelo, Challacollo, 2012.**

		Nombre de la variable		Muestra N°01	Muestra N°02	Unidad de medida
<b>Factores de suelo</b>	1	H	Humedad			%
	2	pH	Potencial de hidrogeniones			Adimensional
	3	MO	Materia orgánica			%
	4	N	Nitrógeno			%
	5	P	Fósforo			ppm
	6	K	Potasio			ppm
	7	T	Textura			Adimensional

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
N° 01	Zona donde existe la vegetación con buenas características físicas.
N° 02	Zona de la cárcava más vulnerable.

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1. CLASIFICACIÓN DE LA CÁRCAVA

- a. La identificación de la cárcava más vulnerable. Tiene las siguientes características físicas que se presenta en el cuadro N°14.

**Cuadro 14: Dimensiones de la cárcava, en progresivas, Challacollo, 2013.**

ORDEN	PROGRESIVA (Km)	ANCHO (m)	ALTO (m)
1	0+000	1.64	0.35
2	0+020	1.64	0.53
3	0+040	3.80	1.41
4	0+060	4.25	1.65
5	0+080	9.06	2.36
6	0+100	7.27	2.08
7	0+120	10.79	2.96
8	0+140	16.06	3.57
9	0+160	17.54	3.14
10	0+180	11.60	2.87
11	0+190	10.34	2.16
12	0+200	15.61	2.68
13	0+220	15.66	3.07
14	0+240	12.00	2.67
15	0+260	10.20	2.52
16	0+280	17.57	2.61
17	0+300	6.42	2.77
<b>PROMEDIO</b>		<b>10.09</b>	<b>2.32</b>



DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES
Longitud de la cárcava	300m.
Ancho prom. de la cárcava	10.09m.
Alto prom. de la cárcava	2.32m.

La clasificación de la cárcava en estudio, según Suarez (2001). Como una de las cárcavas más vulnerables de la zona cuyas características son: una cárcava mediana con escarpe vertical y que se encuentra en un rango de profundidad de 1 a 5m: además tiene un área de drenaje de 16 há, por el cual se clasifica como una cuenca grande, porque se encuentra en el rango de superficie mayor a 5 hectáreas.

## 7.2. ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA PARA EL CONTROL DE PROCESOS DE CARCAVAMIENTO.

Las tres estructuras de biotecnología seleccionada son:

1. Muros de piedra vegetalizados.
2. Muros en gaviones vegetalizados.
3. Colchonetas de gaviones vegetalizados

De manera tal, tienen las siguientes características principales, para el análisis.

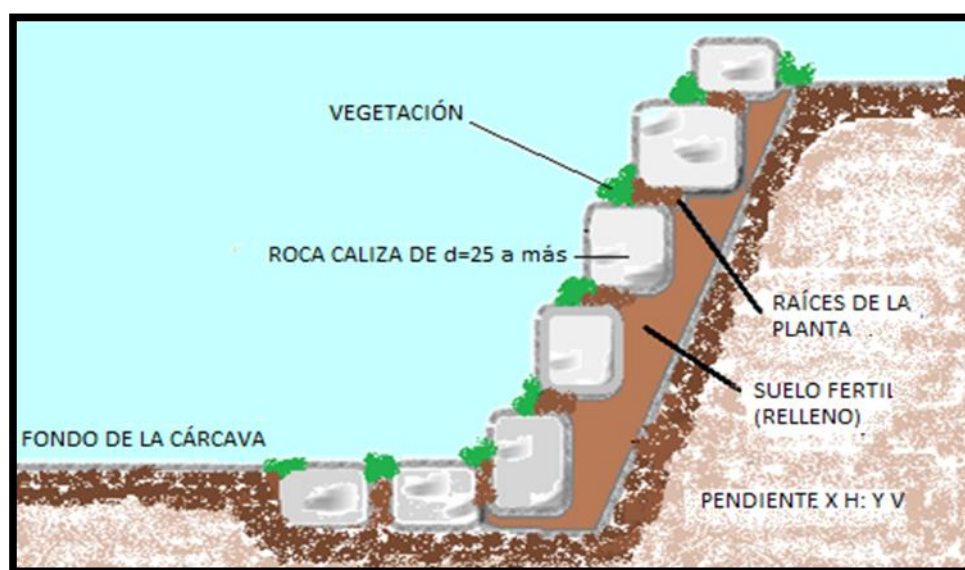
### 4.2.1. Muros de piedra vegetalizados.

Consiste en pantallas o muros construidos con piedra de 25" a más, rocas con formas rectangulares y/o cuadradas para estabilizar mejor los taludes, ya que la pendiente del talud es determinable en función al tamaño de piedra, altura de muro, espesor y estabilidad del suelo. Sobre la capa de la roca se coloca una capa de suelo de

aproximadamente 15 centímetros y/o menos de acuerdo a la planta que se establecerá y a la resistencia de la fricción entre las rocas y el suelo, para que estas no se desplacen.

Para facilitar el crecimiento de la vegetación, se debe colocar suelo fértil de la zona (cárcava).

**Figura 21: Muros de piedra vegetalizados, Challacollo, 2013.**



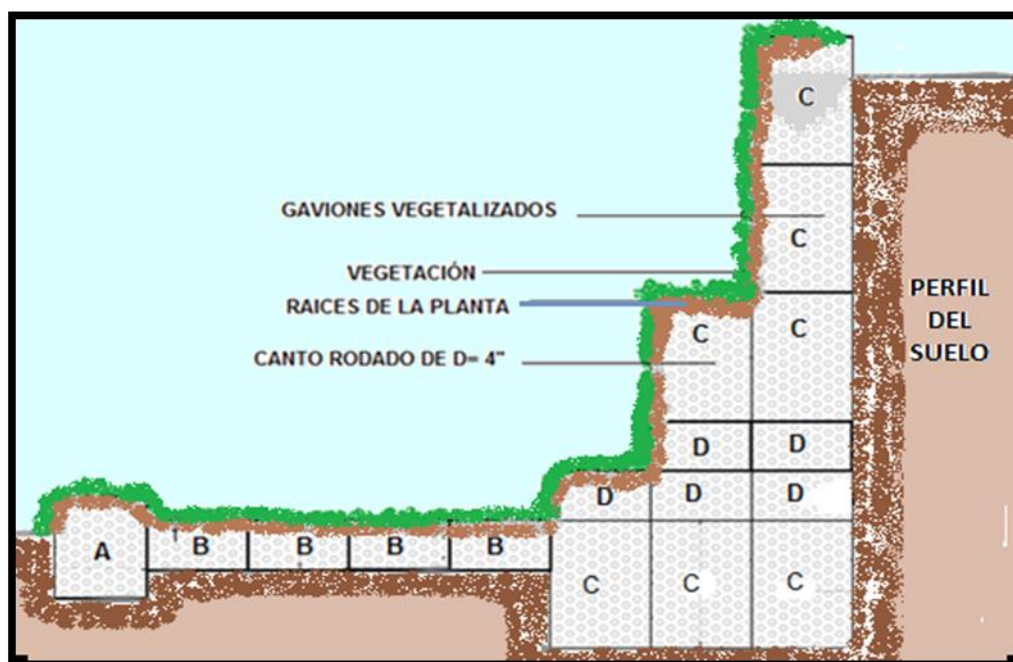
#### 4.2.2. Gaviones

Los gaviones son contenedores de malla hexagonal de alambre galvanizado, de estructura flexible, permeable y monolítica. Los gaviones serán rellenos con piedras con piedras o pedazos de piedra de 4" a 8" en forma mecánica o manual (se recomienda cantos rodados), son elementos con volúmenes entre 1 y 4.5 m<sup>3</sup> por elemento. Las cajas de alambre propiamente ligadas, formaran bloques de construcción monolíticos. El gavión ya relleno se convertirá en un bloque grande de construcción permeable y flexible que serán utilizados

para construir estructuras propuestas, esto se hará colocando unidades de juntas y amarrándolas con alambre y rellenándolas en el sitio.

Los planes de construcción y diseños de los gaviones serán preparados por profesionales familiarizados con su uso. El diseño de las obras de control de la erosión y la sedimentación debe asegurar que los cimientos soporten el peso de los gaviones y que estos no sean arrastrados, además se debe garantizar que la piedra usada sea durable con un coeficiente de abrasión alta y de buena resistencia a los agentes químicos que pueden presentarse y de tamaño adecuado para ser acomodada en las canastas o cajas.

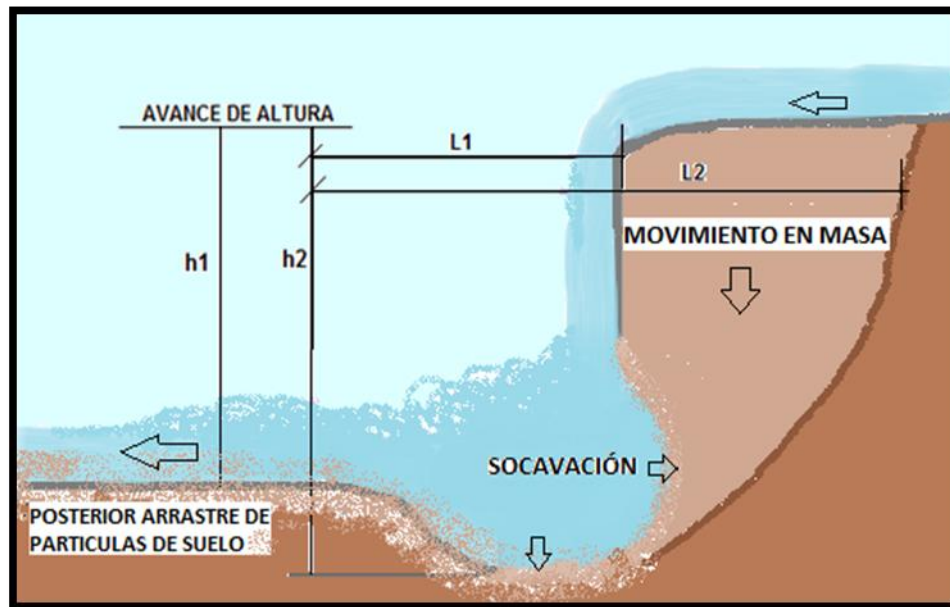
**Figura 22: Muros y colchonetas de gaviones vegetalizados, Challacollo, 2013.**



La vegetación de los muros de gaviones consistirá en el trasplante de una planta, en tal forma que ésta pueda enraizar. Para facilitar el su crecimiento, los gaviones serán rellenos con suelo fértil de la zona.

## 4.3. ANÁLISIS PARA EL CONTROL, EN CABEZA DE LA CÁRCAVA.

**Figura 23: Mecanismos de erosión que se presentan en la cabeza de cárcava (progresiva 0+300), Challacollo, 2103.**



En el que necesitamos controlarlo reducir los siguientes parámetros:

1. Disipar de las líneas de flujo turbulento del agua.
2. Reducir la energía cinética del agua.
3. Controlar el avance de la altura de talud.
4. Controlar la socavación en el pie de la cárcava.
5. Controlar el movimiento en masa.

**Cuadro 15: Estructuras y parámetros descritos en la cabeza de la cárcava (progresiva 0+300), Challacollo, 2013.**

Necesitamos controlar o reducir		ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA		
		1	2	3
		Muros de piedra vegetalizados.	Muros de gaviones vegetalizados.	Colchonetas de gaviones vegetalizados
1	Disipar las líneas de flujo turbulento del agua.		x	x
2	Energía cinética del agua.	x	x	x
3	Socavación en pie de talud.	x	x	x
4	Avance de altura de talud.	x	x	x
5	Movimiento en masa.	x	x	x
TOTAL		4	5	5

**4.3.1. Análisis comparativo del cuadro N° 15.**

**a) (Fila 01, Columna “Y”); donde Y= 1, 2,3.**

- (Disipar las líneas de flujo turbulento del agua, Muros de piedra)

En una cuenca la precipitación pluvial que se presenta en épocas de avenida, genera la erosión hídrica y posteriormente la formación de cárcavas como en el caso nuestro, esto se debe al flujo que se concentra, escurre de las partes altas a las zonas bajas de la cuenca, formando un cauce y generándose carga hidráulica,

de manera que provoca turbulencia del agua. Si nosotros construimos una estructura de muros de piedra en la cabeza de cárcava con rocas calizas de 25" de lado, con formas cuadradas o rectangulares, ésta estructura se comportara como un obstáculo para el flujo del agua, la estructura no disiparía el flujo turbulento del agua, debido al tamaño de rocas, así provocara salpicaduras en toda la parte delantera del muro, a consecuencia de los pocos espacios vacíos entre rocas de la estructura generándose carga hidráulica. Por ende la estructura no es una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento del agua, en la cabeza de cárcava.

- (Disipar las líneas de flujo turbulento del agua, Muros de gaviones)

Los muros de gaviones que tienen las características mencionadas anteriormente, son una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento que se genera en la parte posterior de la cabeza de cárcava, ya que ésta estructura de biotecnología, esta relleno de canto rodado de 4", por ello disipa las líneas de flujo turbulento, además la estructura no genera carga hidráulica debido a que la pared del gavión es filtrante. Por ende ésta estructura es una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento y reducir la capacidad erosiva a la salida de la estructura.

- (Disipar las líneas de flujo turbulento del agua, Colchonetas de gaviones).

Las colchonetas de gaviones que tienen las características mencionadas, son también una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento que se genera en la parte posterior de la cabeza de cárcava ya que las colchonetas de gaviones esta

rellenado de canto rodado de 4", por ello disipa las líneas de flujo turbulento, reduciendo la capacidad erosiva del agua, además la estructura no genera carga hidráulica en la parte posterior de la estructura, debido a que el colchón es filtrante. Por ende la estructura es una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento.

**b) Fila 02, Columna "Y"; donde Y= 1, 2,3.**

- (Energía cinética del agua, Muros de piedra)

La energía cinética del agua es provocada por el movimiento o salto del agua que se genera por la diferencia de altura de la cabeza de cárcava y pie de talud en épocas de avenida, por el cual es un parámetro que se debe controlar o reducir. Los muros de piedra con las características mencionadas, en cierta forma reducirán la energía cinética del agua, porque la estructura tendrá una pendiente de diseño y que además se construirá en la cara de los muros de piedra, disipadores de energía con rocas largas que reducirá la velocidad en ciertos tramos. Por ende la estructura es una alternativa para disipar la energía cinética del agua.

- (Energía cinética del agua, Muros de gaviones)

Los muros de gaviones son estructuras permeables, éstas estructuras están rellenas de canto rodado de 4" de diámetro, la estructura es una buena alternativa para reducir la energía cinética del agua, porque cuando el agua está en movimiento, circula por el interior del gavión debido a que es muy permeable, generándose en el interior la disminución de la velocidad del agua, provocado por las piedras de canto rodado y por la gran cantidad de éstas rocas.

Por ende los muros de gaviones reducen la energía cinética del agua.

- (Energía cinética del agua, Colchonetas de gaviones)

Las colchonetas de gaviones son estructuras permeables, éstas estructuras están rellenas con canto rodado de 4" de diámetro, que reduce la energía cinética del agua, porque al generarse el movimiento del agua en el interior de la estructura las partículas del agua, tropiezan con la gran cantidad de rocas menudas, de tal manera reduce la velocidad del agua, disminuyendo la energía cinética del agua en movimiento. Por ende la estructura de colchonetas de gaviones reduce la energía cinética del agua.

- c) Fila 03, Columna "Y"; donde Y= 1, 2,3.**

- (Socavación en pie de talud, Muros de piedra)

Los muros de piedra que se plantearon para el control del avance en la cabeza de cárcava serían de la forma que se tiene en la figura 8, más disipadores de energía. La socavación en el pie de talud será controlada, pero en este caso no se especifica las dimensiones del muro como: longitud, espesor, y pendiente, esto se realizara en el diseño de la estructura, está propuesta con las características de los materiales de la estructura de biotecnología es diseñarle y manejable. En tal sentido los muros de piedras con esas características de sus materiales, controlar la socavación en pie de talud.



- (Socavación en pie de talud, Muros de gaviones)

Los muros de gaviones con las características de los materiales mencionadas y forma aproximada como la figura 20 (A, C), controlara la socavación en pie de talud, porque es una estructura que cubre toda la zona donde existen la socavación en pie de talud, generadas en la cabeza de cárcava por las grandes corrientes de agua que se presentan en fuertes precipitaciones. Por ende los muros de gaviones controlara la socavación en pie de talud.

- (Socavación en pie de talud, Colchonetas de gaviones)

Las colchonetas de gaviones con las características de los materiales, forma aproximada como la figura 20 (B, D), si controlara la socavación en pie de talud, porque el muro estará establecida con puro colchonetas o solo en la parte inferior donde se genera la socavación, la ubicación de éstas estructuras se determinara en el diseño, ya que es una estructura con las mismas características de materiales que los muros de gaviones y estas dos forman en muchos casos una sola estructura rígida. Por ende las colchonetas de gaviones controlara la socavación en pie de talud.

**d) Fila 04, Columna “Y”;** donde  $Y = 1, 2, 3$ .

- (Avance de altura, Muros de piedra)

El avance de altura de talud ésta generado principalmente por la energía cinética del agua, si éste parámetro es disminuido

por los muros de piedra que además forman una cubierta de roca en la zona donde se genera el avance de altura, éste parámetro será controlado por la estructura de los muros de piedra.

- (Avance de altura, Muros de gaviones)

El avance de altura ésta generado principalmente por la energía cinética del agua, si éste parámetro es disminuido por los muros de gaviones y además serán construidos como cubierta en la zona donde se genera el avance de altura de talud, por lo tanto éste parámetro será controlado por los muros de gaviones.

- (Avance de altura, Colchonetas de gaviones)

El avance de altura ésta generado por la energía cinética del agua, si éste parámetro es disminuido por las colchonetas de gaviones por sus características y que además formaran una cubierta de colchonetas de gaviones en la zona donde se genera el avance de altura, éste parámetro será controlado por las colchonetas de gaviones.

- e) Fila 05, Columna “Y”;** donde  $Y = 1, 2, 3$ .

- (Movimiento en masa, Muros de piedra)

Los muros de piedra son muchas veces utilizados para la estabilización de taludes, defensas ribereñas ya que las rocas calizas tienen una buena resistencia a la erosión, en nuestro caso también necesitamos estabilizar el talud de la cabeza de cárcava. La estructura de muros de piedra con las características de tamaño de roca y la pendiente que es determinable, controlara el movimiento en masa, además el suelo no es muy inestable (véase las fotos en anexos), ésta característica del suelo que se presenta

en la cárcava nos permitirá una mejor estabilidad del talud con enrocado. Por ende los muros de piedra controlan el movimiento en masa de suelo.

- (Movimiento en masa, Muros de gaviones)

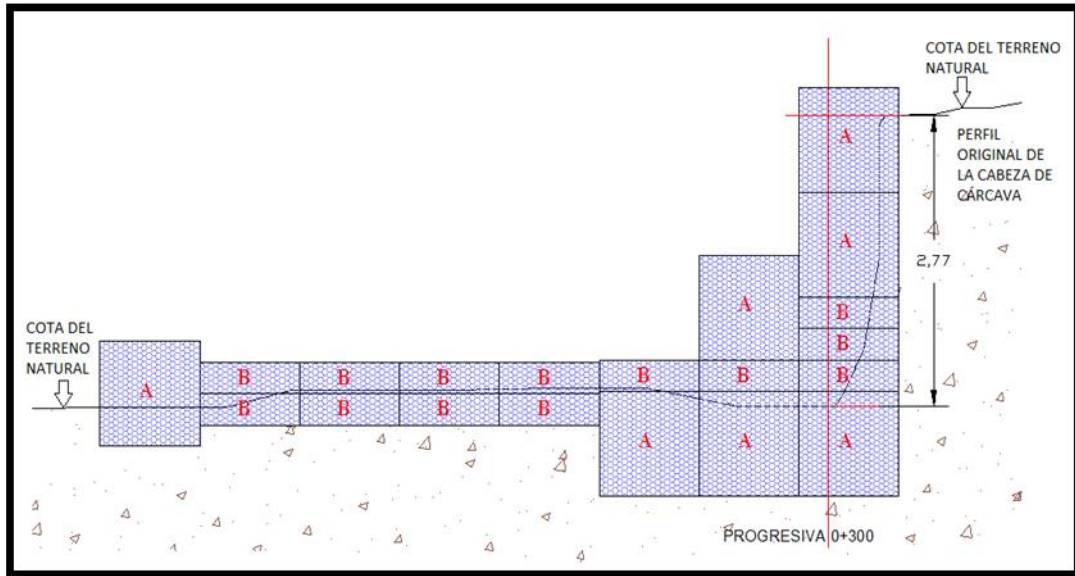
Los muros de gaviones son estructuras rígidas, permeables que tiene la característica de retener las partículas arrastradas de suelo de las partes altas y drenar agua por el interior de las estructuras debido a que es filtrante, esto ocasiona un buen mecanismo de estabilizar taludes sobre todo en las zona donde se presenta cauces concentrados en precipitaciones máximos momentáneo. Por tal motivo es una buena alternativa para estabilizar taludes con presencia de escurrimiento de agua.

- (Movimiento en masa, Colchonetas de gaviones)

De igual manera no cabe duda que las colchonetas de gaviones, son estructuras que también retienen las partículas de suelo en arrastre y drenan en agua debido a que es filtrante, además no genera cargas hidráulicas en la estructura. Por ende es una estructura que estabiliza taludes generándose un buen mecanismo de retención de partículas y drenaje de agua.

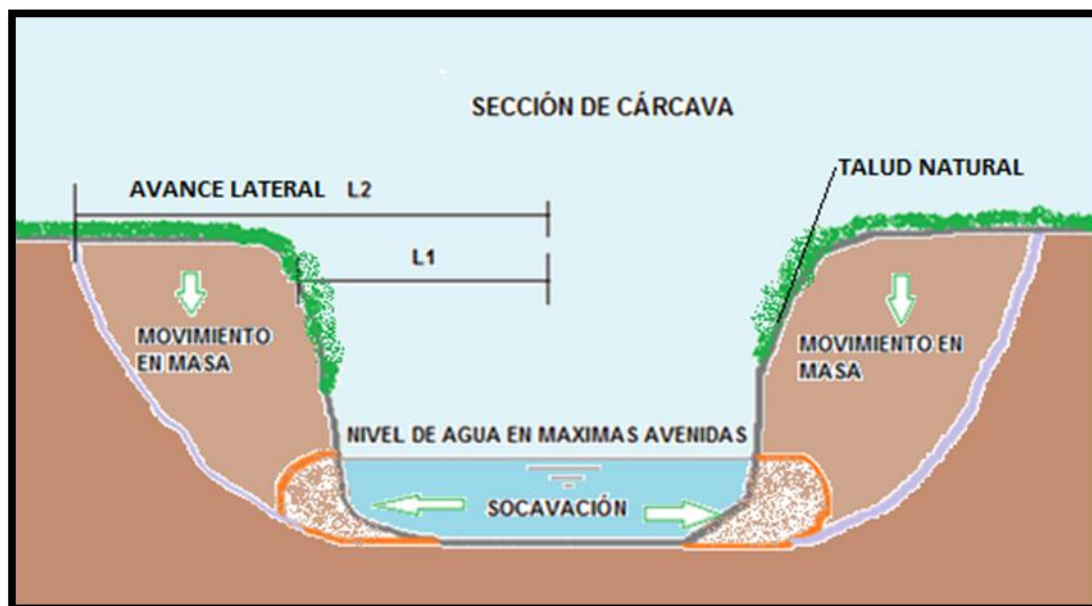
Por ende las estructuras de biotecnología que deben diseñarse y ejecutarse en la cabeza de la cárcava son: **Muros de gaviones y colchonetas de gaviones vegetalizados.**

**Figura 24: Forma de aplicación de estructuras de biotecnología al perfil original de la cabeza de cárcava (progresiva 0+300), Challacollo, 2013.**



#### 4.4. ANÁLISIS PARA EL CONTROL DEL AVANCE LATERAL.

**Figura 25: Mecanismos de erosión que se presenta en el avances lateral (progresiva 0+180), Challacollo, 2103.**



En el que necesitamos controlar o reducirlos siguientes parámetros:

1. Socavación en el pie del talud.
2. Movimiento en masa.

**Cuadro 16: Estructuras y parámetros descritos en el avance lateral de la cárcava(progresiva 0+180),Challacollo, 2013.**

Necesitamos controlar o reducir		ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA		
		1	2	3
		Muros de piedra vegetalizados	Muros de gaviones vegetalizados	Colchonetas de gaviones vegetalizados
1	Socavación en pie de talud	x	x	x
2	Movimiento en masa	x	x	x
TOTAL		2	2	2

**4.4.1. Análisis comparativo del cuadro N° 14.**

a)Fila 01, Columna “Y”; dondeY= 1, 2,3.

- (Socavación en pie de talud, Muros de piedra)

La socavación en pie de talud del avance lateral es ocasionada por el flujo del agua que se concentra de las partes altas de la cabeza de cárcava en precipitaciones máximos momentáneos, aumentando el nivel del agua en el fondo de la cárcava y generando una fuerza tractiva en las paredes laterales, dando a consecuencia la socavación lateral. Si nosotros estamos proponiendo la estructura de muros de piedra para el control de la socavación lateral, la estructura con las características mencionadas, no serán socavados ni arrastrados por las corrientes de agua que se presentaran ya que las rocas son de 25” a más. Por ende los muros de piedra controlaran las socavaciones laterales que existen en la cárcava.

- (Socavación en pie de talud, Muros de gaviones)

Los muros de gaviones con las características mencionadas anteriormente y la forma que adquiere (figura 20 “A”), u otras mejores formas que se pueden plantear, si controlara la socavación en las paredes de los taludes laterales.

- (Socavación en pie de talud, Colchonetas de gaviones)

Las colchonetas de gaviones con las características mencionadas anteriormente y la forma que adquiere (figura 20 “B”), u otras mejores formas que se pueden plantear, como muro de colchonetas, al igual que los muros de gaviones controlara la socavación en pie de taludes laterales de la cárcava.

- b) Fila 02, Columna “Y”;** donde  $Y = 1, 2, 3$ .

- (Movimiento en masa, Muros de piedra)

Los muros de piedra con los tamaños de roca mencionadas, pendiente que se determinara en el diseño. Esta estructura si controlara el movimiento en masa que es generada por la socavación en pie de taludlateral y por el caudal del agua que se dirige desde las partes altas de la cabeza de cárcava.

- (Movimiento en masa, Muros de gaviones)

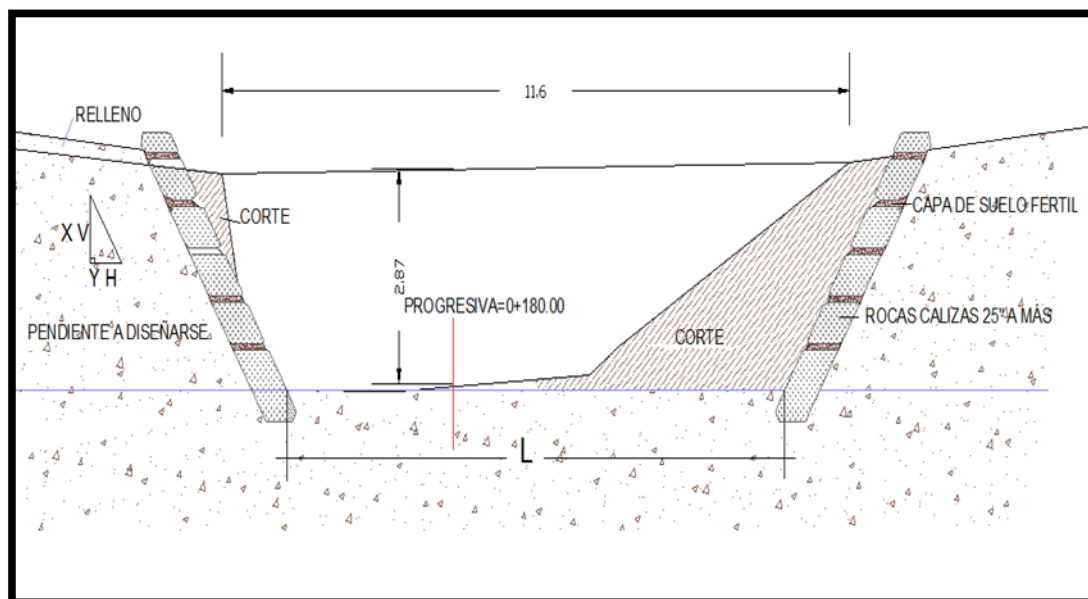
Las estructuras de los muros de gaviones son más rígidas que los muros de piedra y más estables por lo que ésta estructura si controlara los movimientos en masa.

- (Movimiento en masa, Colchonetas de gaviones)

De igual manera las colchonetas de gaviones son más rígidas que los muros de piedra y más estables por lo que ésta estructura formada como muros de colchonetas, también controlara los movimientos en masa que se presentan en los avances laterales de la cárcava.

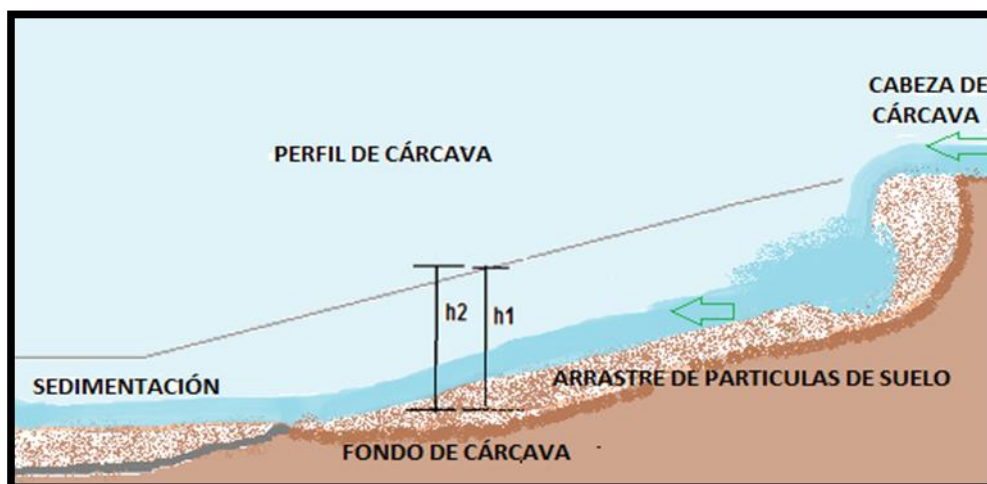
Por ende La estructura de biotecnología más conveniente (costo de gavión, estabilidad del talud lateral), que debe diseñarse y ejecutarse en el avance lateral es: **Muros de piedra vegetalizados**

**Figura 26: Forma de aplicación de los muros de piedra, a la sección original del avance lateral de cárcava (progresiva 0+180), Challacollo, 2013.**



4.5. ANÁLISIS PARA EL CONTROL DEL FONDO DE LA CÁRCAVA.

**Figura 27: Mecanismos de erosión que se presentan en el fondo de la cárcava.**



En el que necesitamos controlar los siguientes parámetros en el fondo de la cárcava:

1. Arrastre de partículas de suelo.
2. Disipación de las líneas de flujo turbulento.



**Cuadro 17: Estructuras y parámetros descritos en el avance de fondo de la cárcava (progresivas 0+000 a 0+300), Challacollo, 2013.**

Necesitamos controlar reducir		ESTRUCTURAS DE BIOTECNOLOGÍA		
		1	2	3
		Muros de piedra vegetalizados	Muros en gaviones vegetalizados	Colchonetas de gaviones vegetalizados
1	Arrastre de partículas de suelo.	x	x	x
2	Disipar las líneas de flujo turbulento.		x	x
TOTAL		1	2	2

**4.5.1. Análisis comparativo del cuadro N°15.**

a) **Fila 01, Columna “Y”;** donde Y= 1, 2,3.

- (Arrastre de partículas, Muros de piedra)

Si construimos muros de piedra en el fondo de la cárcava en forma de obstáculos de una fila o más, a una determinada distancia según pendiente para la retención de arrastre de partículas de suelo que es generada por la corriente del agua, ésta estructura si disminuirá el arrastre de partículas de suelo en el fondo de la cárcava.

- (Arrastre de partículas, Muros de gaviones)

Si construimos muros de gaviones en el fondo de la cárcava, para retener las partículas en arrastre, estas estructuras controlaran de una manera más eficiente que los muros de piedra, según sus características de materiales que la

conforman, además los muros de gaviones no generan carga hidráulica, porque al generarse carga hidráulica las partículas en suspensión son transportadas. La estructura de los muros de piedra genera carga hidráulica. Entonces la estructura de los muros de gaviones si controlara el arrastre de partículas de una manera más eficiente que otras estructuras porque genera un mecanismo de retención de partículas y drenaje.

- (Arrastre de partículas, Colchonetas de gaviones)

De igual manera las colchonetas de gaviones tienen las mismas características de materiales que los muros de gaviones, por tal motivo éstas estructuras también controlan el arrastre de partículas de suelo en el fondo de la cárcava.

**b) Fila 02, Columna “Y”;** donde  $Y = 1, 2, 3$ .

- (Disipar las líneas de flujo turbulento, Muros de piedra)

Si construimos estructuras de muros de piedra con las características mencionadas de tamaño, para disipar las líneas de flujo turbulento que se presentan una vez que el agua aumenta la velocidad en el fondo de la cárcava. Los muros de piedra no disipan el flujo turbulento, provocando socavaciones en pie de las rocas debido al tamaño, además generara carga hidráulica sobre la estructura provocando el arrastre de partículas en suspensión. Por ende no es recomendable para disipar las líneas de flujo del agua.

- (Disipar las líneas de flujo turbulento, Muros de gaviones)

Los muros de gaviones son una buena alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento y reducir la capacidad

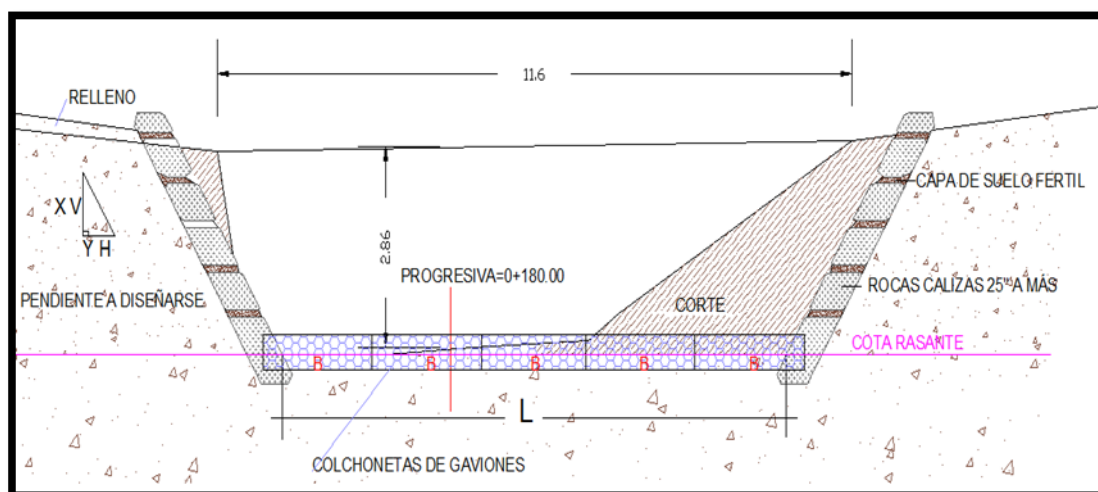
erosiva del agua, ya que ésta estructura posee una serie de cantos rodados, el cual disipa las líneas de flujo del agua reduciendo la velocidad de las partículas de agua ordenándolas, además no genera carga hidráulica.

- (Disipar las líneas de flujo turbulento, Colchonetas de gaviones)

De igual manera las colchonetas de gaviones son estructuras que tienen esas mismas características de materiales que los muros de gaviones. Por tal motivo también es una buena y mejor alternativa para disipar las líneas de flujo turbulento en el fondo de la cárcava y reducir la erosión hídrica.

Por ende La estructura de biotecnología más conveniente por sus características físicas, que debe diseñarse y ejecutarse en el avance de fondo es: **Colchonetas de gaviones vegetalizados**.

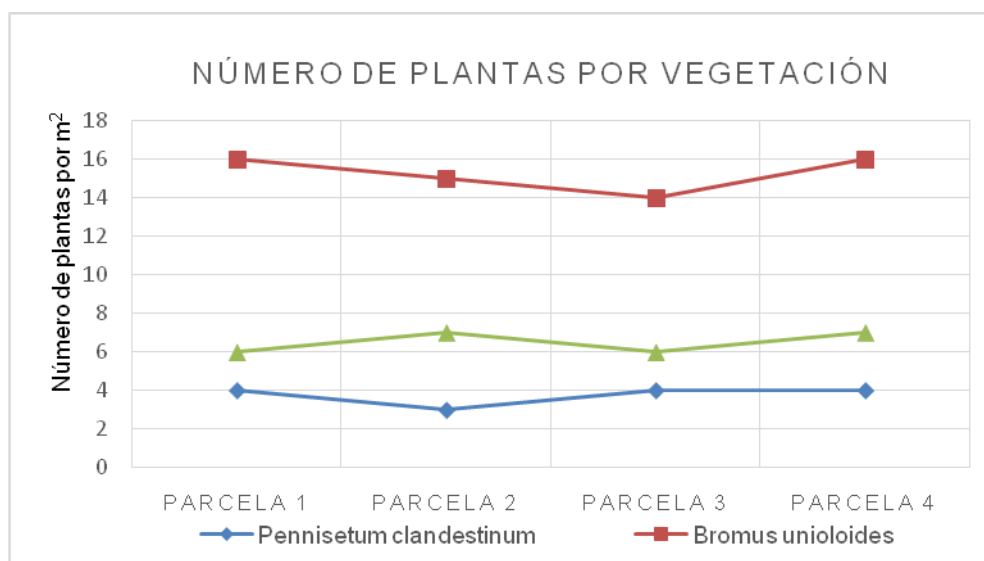
**Figura 28: Forma de aplicación de las colchonetas de gaviones, a la sección original del avance de fondo (progresiva 0+180), Challacollo, 2013.**



4.6. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS VEGETACIONES

**Cuadro 18: Número de plantas por m<sup>2</sup>, Challacollo, diciembre, 2012.**

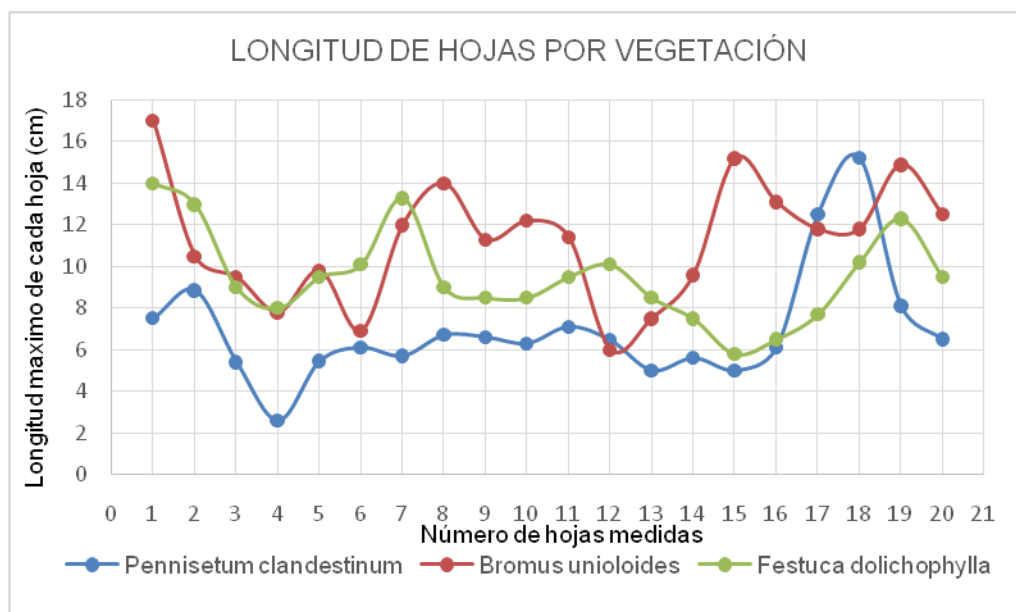
Parcelas de 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Número de plantas		
Parcela 1	4	16	6
Parcela 2	3	15	7
Parcela 3	4	14	6
Parcela 4	4	16	7
<b>Promedio</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>7</b>



**Gráfica 1: Distribución de datos, número de plantas por m<sup>2</sup> de parcela.**

**Cuadro 19: Longitud de hojas por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.**

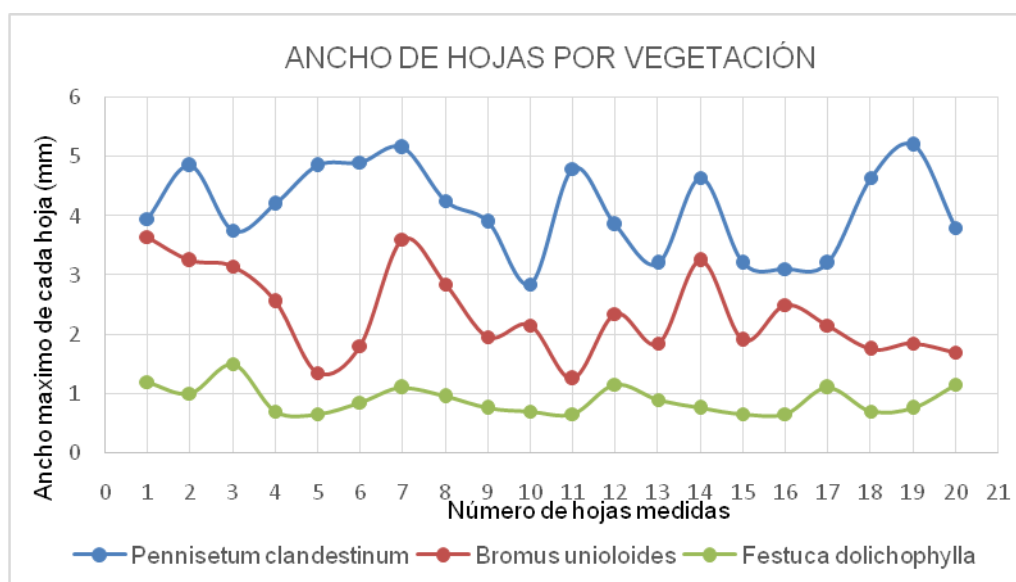
Número de hojas medidas al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Longitud de hojas (cm)		
1	7.50	17.00	14.00
2	8.85	10.50	13.00
3	5.40	9.50	9.00
4	2.60	7.80	8.00
5	5.45	9.80	9.50
6	6.10	6.90	10.10
7	5.70	12.00	13.30
8	6.70	14.00	9.00
9	6.60	11.30	8.50
10	6.30	12.20	8.50
11	7.10	11.40	9.50
12	6.45	6.00	10.10
13	5.00	7.50	8.50
14	5.60	9.60	7.50
15	5.00	15.20	5.80
16	6.10	13.10	6.50
17	12.50	11.80	7.70
18	15.20	11.80	10.20
19	8.10	14.90	12.30
20	6.50	12.50	9.50
<b>Promedio</b>	<b>6.94</b>	<b>11.24</b>	<b>9.53</b>



**Grafica 2: Distribución de datos, longitud de hojas por vegetación. Cuadro 20: Ancho máximo de cada hoja por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.**

Número de hojas medidas al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Ancho máximo de hojas (mm)		
1	3.95	3.65	1.20
2	4.85	3.25	1.00
3	3.75	3.15	1.50
4	4.20	2.55	0.70
5	4.85	1.35	0.65
6	4.90	1.80	0.85
7	5.15	3.60	1.10
8	4.25	2.85	0.95
9	3.90	1.95	0.75
10	2.85	2.15	0.70
11	4.80	1.25	0.65

12	3.85	2.35	1.15
13	3.20	1.85	0.90
14	4.65	3.25	0.75
15	3.20	1.90	0.65
16	3.10	2.50	0.65
17	3.20	2.15	1.10
18	4.65	1.75	0.70
19	5.20	1.85	0.75
20	3.80	1.70	1.15
<b>Promedio</b>	<b>4.12</b>	<b>2.34</b>	<b>0.89</b>



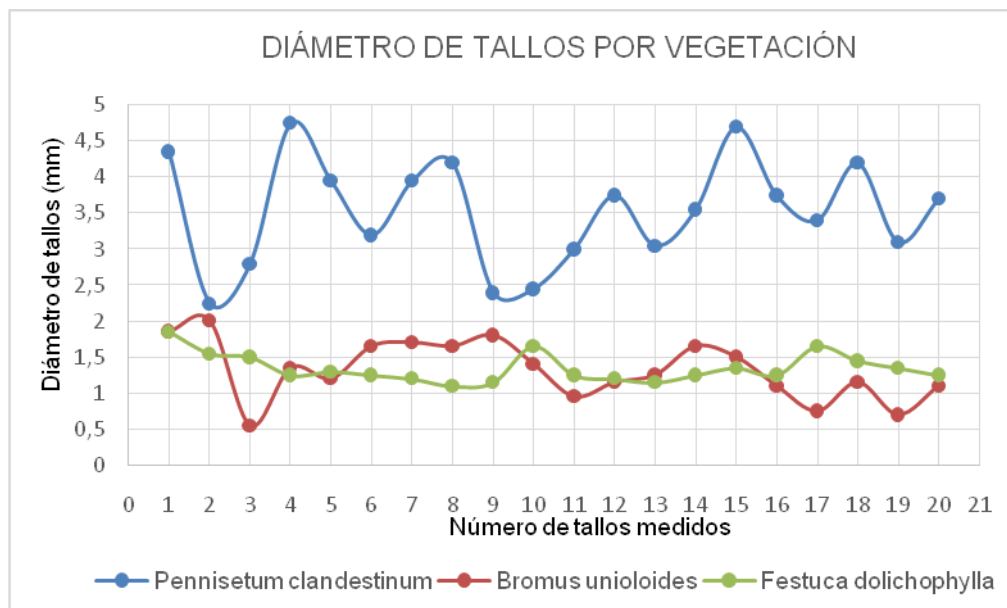
Grafica 3: Distribución de datos, ancho de hojas por vegetación.

Cuadro 21: Diámetro de tallos por vegetación, Challacollo, diciembre, 2012.

Número de tallos medidos al azar	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Diámetro de tallos (mm)		

en1 m <sup>2</sup>			
1	4.35	1.85	1.85
2	2.25	2.00	1.55
3	2.80	0.55	1.50
4	4.75	1.35	1.25
5	3.95	1.20	1,30
6	3.20	1.65	1.25
7	3.95	1.70	1.20
8	4.20	1.65	1.10
9	2.40	1.80	1.15
10	2.45	1.40	1.65
11	3.00	0.95	1.25
12	3.75	1.15	1.20
13	3.05	1.25	1.15
14	3.55	1.65	1.25
15	4.70	1.50	1.35
16	3.75	1.10	1.25
17	3.40	0.75	1.65
18	4.20	1.15	1.45
19	3.10	0.70	1.35
20	3.70	1.10	1.25
<b>Promedio</b>	<b>3.53</b>	<b>1.32</b>	<b>1.35</b>



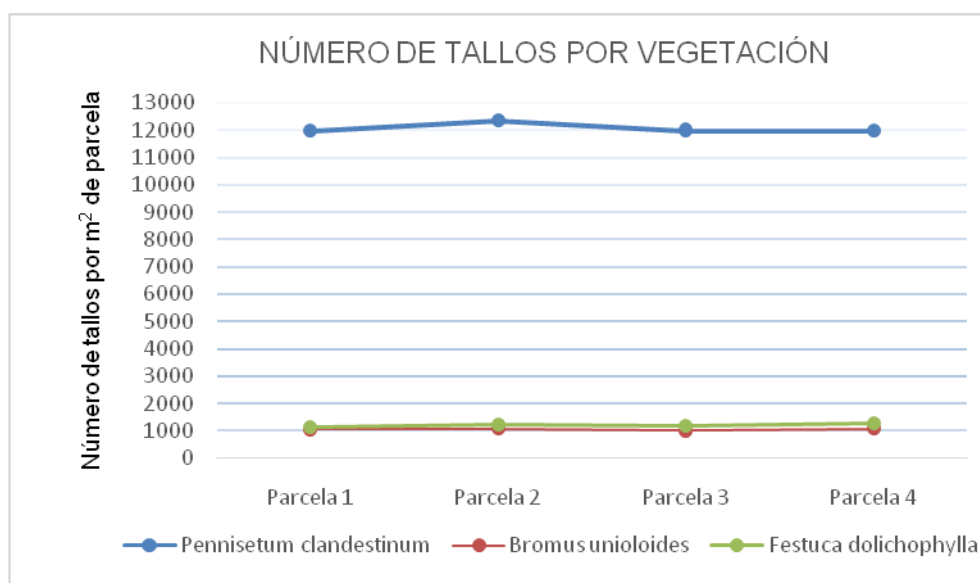


**Grafica 4: Distribución de datos, diámetro de tallos por vegetación.**

**Cuadro 22: Número de tallos por m<sup>2</sup>, Challacollo, diciembre, 2012.**

Parcelas de 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Número de tallos		
Parcela 1	11,978	1,040	1,140
Parcela 2	12,345	1,084	1,234
Parcela	11,992	995	1,189

3			
Parcela 4	11,987	1,076	1,265
<b>Promedio</b>	<b>12,076</b>	<b>1,049</b>	<b>1,207</b>

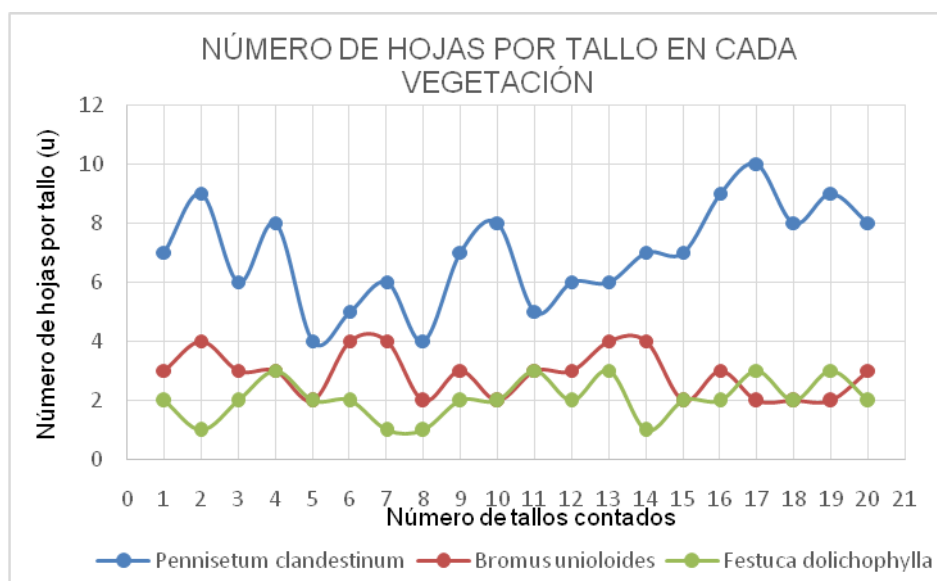


**Grafica 5: Distribución de datos, número de tallos por vegetación de parcelas.**

**Cuadro 23: Número de hojas por tallo, Challacollo, diciembre, 2012.**

Número de tallos medidos al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> <i>m</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioides</i> <i>s</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> <i>a</i> (Chilligua)
	Número de hojas por tallo		
1	7	3	2
2	9	4	1
3	6	3	2

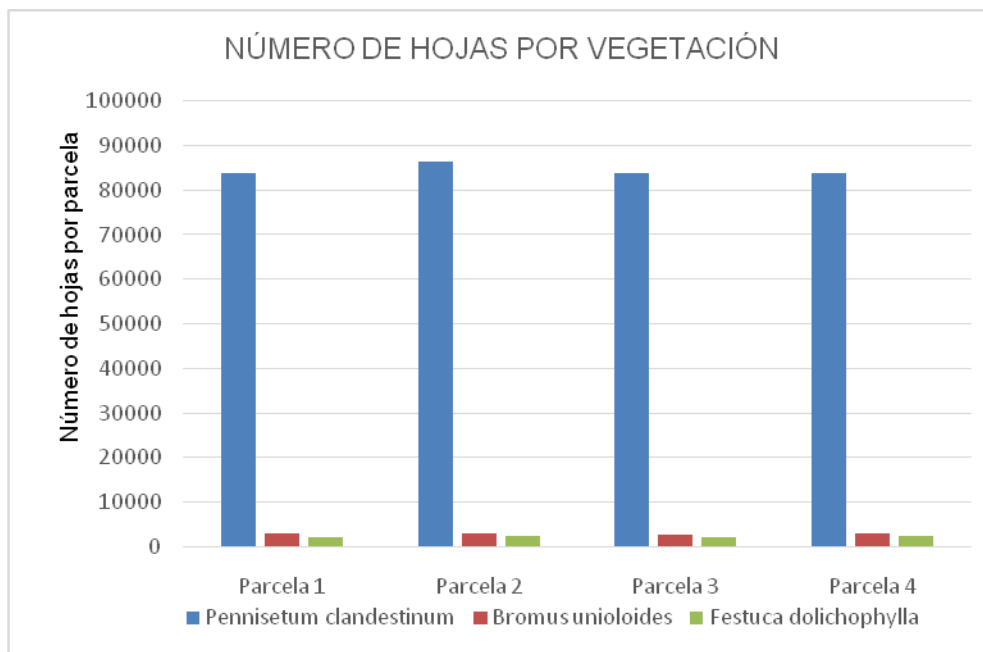
4	8	3	3
5	4	2	2
6	5	4	2
7	6	4	1
8	4	2	1
9	7	3	2
10	8	2	2
11	5	3	3
12	6	3	2
13	6	4	3
14	7	4	1
15	7	2	2
16	9	3	2
17	10	2	3
18	8	2	2
19	9	2	3
20	8	3	2
<b>Promedio</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>2</b>



**Grafica 6: Distribución de datos, número de hojas por tallo en cada vegetación.**

**Cuadro 24: Densidad promedio de hojas por parcela, Challacollo, diciembre, 2012.**

Parcelas de 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Densidad promedio de hojas		
Parcela 1	83,846	3,120	2,280
Parcela 2	86,415	3,252	2,468
Parcela 3	83,944	2,985	2,378
Parcela 4	83,909	3,228	2,530
<b>Promedio</b>	<b>84,529</b>	<b>3,146</b>	<b>2,414</b>

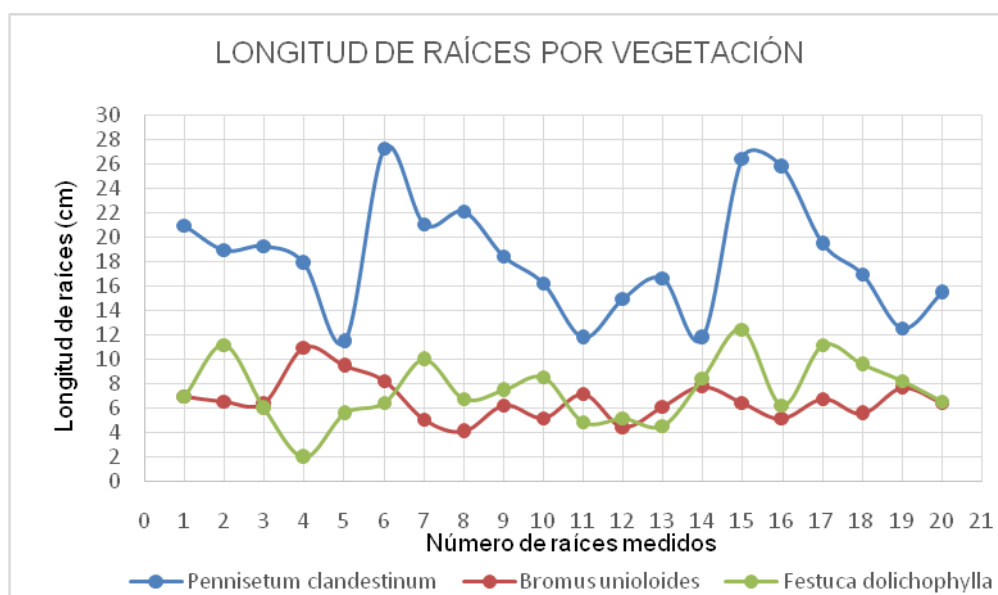


**Grafica 7: Distribución de datos, densidad de hojas por vegetación de parcela.**

**Cuadro 25: Longitud de raíces, Challacollo, diciembre, 2012.**

Número de raíces medidos al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Longitud de raíces (cm)		
1	21.00	7.00	7.00
2	19.00	6.60	11.20
3	19.30	6.50	6.00
4	17.90	11.00	2.00
5	11.50	9.50	5.60
6	27.30	8.30	6.50
7	21.10	5.10	10.00

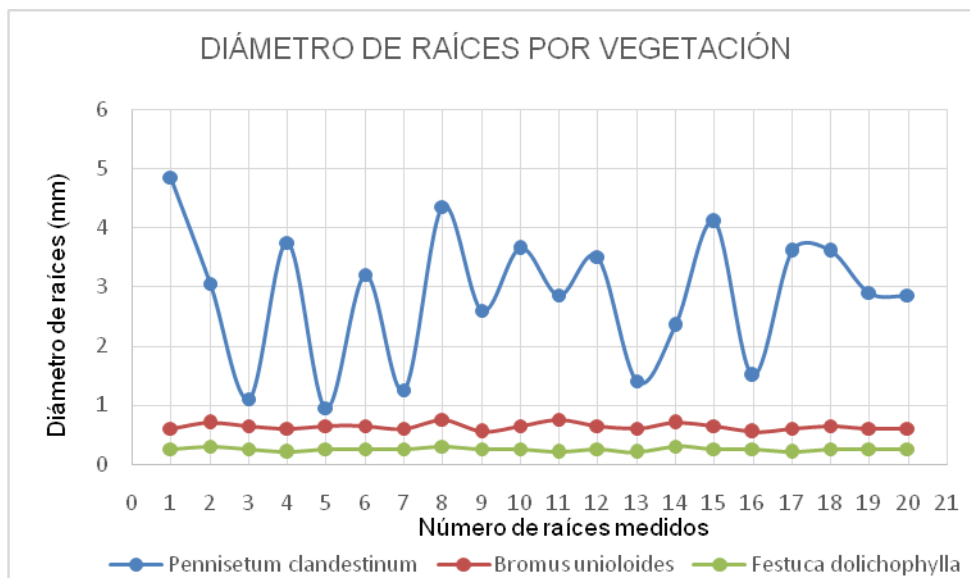
8	22.15	4.10	6.80
9	18.50	6.30	7.50
10	16.30	5.20	8.60
11	11.80	7.20	4.90
12	15.00	4.50	5.20
13	16.70	6.20	4.60
14	11.80	7.80	8.50
15	26.50	6.50	12.50
16	25.80	5.20	6.30
17	19.50	6.80	11.20
18	17.00	5.60	9.60
19	12.60	7.70	8.30
20	15.50	6.50	6.60
<b>Promedio</b>	<b>18.31</b>	<b>6.68</b>	<b>7.45</b>



**Grafica 8: Distribución de datos, longitud de raíces por vegetación.**

**Cuadro 26: Diámetro de raíces, Challacollo, diciembre, 2012.**

Número de raíces medidos al azar en 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Diámetro de raíces (mm)		
1	4.85	0.60	0.25
2	3.05	0.70	0.30
3	1.10	0.65	0.25
4	3.75	0.60	0.20
5	0.95	0.65	0.25
6	3.20	0.65	0.25
7	1.25	0.60	0.25
8	4.35	0.75	0.30
9	2.60	0.55	0.25
10	3.65	0.65	0.25
11	2.85	0.75	0.20
12	3.50	0.65	0.25
13	1.40	0.60	0.20
14	2.35	0.70	0.30
15	4.10	0.65	0.25
16	1.50	0.55	0.25
17	3.60	0.60	0.20
18	3.60	0.65	0.25
19	2.90	0.60	0.25
20	2.85	0.60	0.25
<b>Promedio</b>	<b>2.87</b>	<b>0.64</b>	<b>0.25</b>

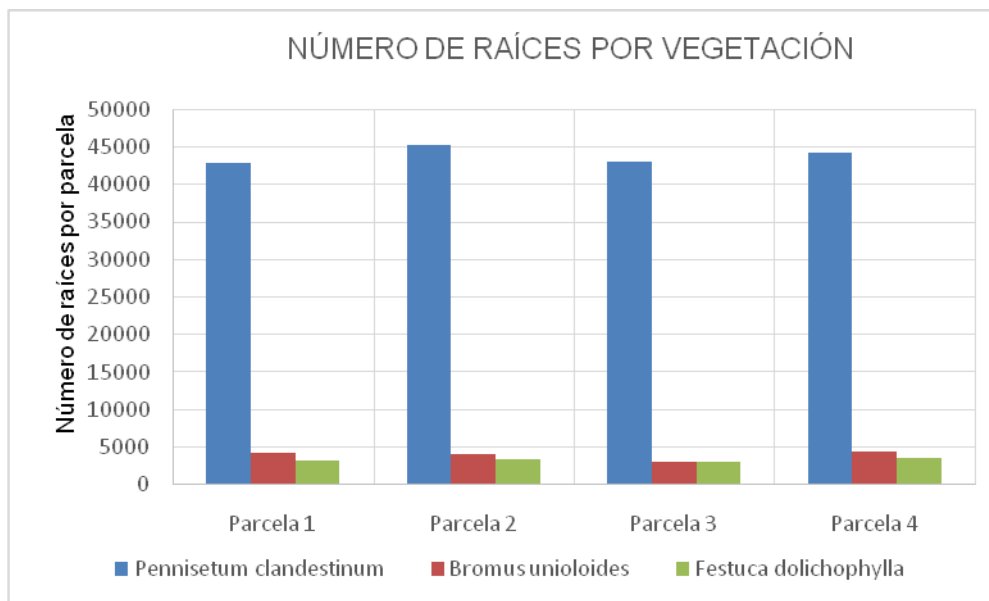


**Grafica 9: Distribución de datos, diámetro de raíces por vegetación.**

**Cuadro 27: Densidad de raíces por m<sup>2</sup>, Challacollo, diciembre, 2012.**

Parcelas de 1 m <sup>2</sup>	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
	Número de raíces		
Parcela 1	42,758	4,254	3,247
Parcela 2	45,234	4,102	3,462
Parcela 3	43,027	3,085	3,021
Parcela 4	44,251	4,438	3,634
<b>Promedio</b>	<b>43,818</b>	<b>3,970</b>	<b>3,341</b>





**Grafica 10: Distribución de datos, densidad de raíces por vegetación de parcela.**

**Cuadro 28: Matriz de resultados, de datos físicos de las tres vegetaciones.**

Parámetros físicos medidos de la vegetación en 1 m <sup>2</sup> .	VEGETACIÓN		
	<i>Pennisetum clandestinum</i> (Kikuyo)	<i>Bromus unioloides</i> (Cebadilla)	<i>Festuca dolichophylla</i> (Chilligua)
1.- Número de plantas.		X	
2.- Longitud de hojas.		X	
3.- Ancho de hojas.	X		
4.- Diámetro de tallos.	X		
5.- Número de tallos.	X		
6.- Número de hojas por tallo.	X		
7.- Densidad de hojas.	X		
8.- Longitud de raíces.	X		

9.- Diámetro de raíces.	X		
10.- Densidad de raíces.	X		
<b>TOTAL</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

#### 4.7. EVALUACIÓN DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS.

Los factores climáticos más relevantes, tales como son: la precipitación promedio total y la temperatura (mínima-máxima) anual, no varían en la zona, porque según Aquice, E. (1984) guía de aprendizaje de Meteorología. UNA. FCA. Puno. Perú. Menciona que la influencia de las estaciones meteorológicas es de 25 km. de radio, siempre en cuando la topografía es regular. En caso nuestro nos encontramos en condiciones más favorables:

1. La vegetación evaluada se encuentra en la misma comunidad de estudio (challacollo).
2. La zona de estudio con referencia a la estación de llave, está a una distancia de 5km.
3. La zona donde existe la vegetación está a 3,886 m.s.n.m., y la zona de la cárcava está a 3,878 m.s.n.m.
4. La zona de la cárcava presenta mejores condiciones de orientación que la zona donde existe la vegetación, con respecto al sol de la mañana y contra el viento de las heladas ya que las cotas sobre el nivel del mar de la cárcava bajan en dirección Noreste, ósea es una zona abrigada.

Por el cual, es el factor que no varía con respecto a las dos zonas por las razones anteriores mencionadas.

**Cuadro 29: Resultado de los parámetros climáticos, Challacollo, 2013.**

		Nombre de la variable		Zona N°01	Zona N°02	Unidad de medida
Factores climáticos	1	PpT	Precipitación promedio total	750	750	mm
	2	T°	Temperatura (máx.-mín)	19 - (-8.8)	19 - (-8.8)	°C

Nota: SENAMHI, 2012.

4.8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO DE SUELOS.

Realizado el análisis de suelo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano –Puno. Se obtuvieron los siguientes resultados.

**Cuadro 30: Resultados del laboratorio de Suelos.**

		Nombre de la variable		Muestra N°01	Muestra N°02	Muestra N°03	Unidad de medida
Factores de suelo	1	H	Humedad	13.68	10.76	10.72	%
	2	pH	Potencial de hidrogeniones	6.21	6.67	6.66	Adimensional
	3	MO	Materia orgánica	2.50	2.65	2.62	%
	4	N	Nitrógeno	0.12	0.13	0.13	%
	5	P	Fósforo	5.48	5.62	5.61	ppm
	6	K	Potasio	105	127	126	ppm

	7	T	Textura	Arenoso franco	Arenoso franco	Arenoso franco	Adimensional
--	---	---	---------	----------------	----------------	----------------	--------------

MUESTRA	DESCRIPCIÓN	ALTITUD
Muestra N°01	Zona donde existe la vegetación (Kikuyo)	3,886 m.s.n.m.
Muestra N°02	Zona a trasplantar (Margen derecho de cárcava)	3,878 m.s.n.m.
Muestra N°02	Zona a trasplantar (Margen izquierdo de cárcava)	3,878 m.s.n.m.

De los resultados obtenidos interpretamos y comparamos de la siguiente manera:

1. La humedad de la muestra número uno, es mayor que de la cárcava, en el cual existe una diferencia promedio de 2.94% de humedad, esto se debe a la cubierta vegetal que forma la vegetación *Pennisetum clandestinum*, a diferencia de la zona de la cárcava que está semidescubierto de pastos y/o rastrojos. El contenido de materia orgánica en la cárcava es mayor que la zona donde existe la vegetación. Considerando este principio la cárcava tendría mayor contenido de humedad si presentase la vegetación (Kikuyo).
2. EL pH del suelo de la muestra de suelo uno, contiene a una tendencia de ser suelo ácido, a comparación de las demás muestras de suelo (cárcava), que se aproximan a ser un suelo neutro. Sabiendo que las plantas se desarrollan mejor en un suelo neutro. La muestra de suelo dos y tres que son de la cárcava son más favorables para el desarrollo de la planta.

3. Contenido de materia orgánica. No cabe duda que la muestra de suelo tomada en la cárcava tiene mayor contenido de materia orgánica en comparación a la muestra uno.
  
4. El contenido de macronutrientes más importantes que son: N, P, K. la muestra dos y tres presentan un mayor contenido de nutrientes que en la zona donde existe la vegetación, el cual implica que la planta *Pennisetum clandestinum* se desarrollara de una mejor manera en la cárcava con las estructuras de tecnología determinadas.
  
5. La clase textural del suelo, las tres muestras son las mismas; además sabemos que la planta *Pennisetum clandestinum*, requiere de suelos de textura liviana, buena profundidad, buen drenaje y alta fertilidad, lo que en ese sentido las características de la zona de cárcava favorecen para el trasplante de la vegetación y para su buen desarrollo con las estructuras de tecnología para el control de la erosión hídrica en cárcavas.

## CONCLUSIONES

De la presente investigación titulada, “propuesta de estructuras de biotecnología para el control de la erosión hídrica (cárcava) en la comunidad de Challacollo – Ilave – Puno”, se llegaron las siguientes conclusiones:

1. La cárcava más vulnerable en la comunidad, presenta las siguientes características físicas: longitud, 300 m; alto promedio 2.32 m; ancho promedio, 10.09 m.
2. Para el diseño y control de la erosión hídrica en la cárcava se propone tres tipos de estructuras de biotecnología:

Para el avance en la cabeza de cárcava (progresiva 0+300), muros de gaviones y colchonetas de gaviones vegetalizados.

Para el avance lateral de cárcava (progresiva 0+000 a 0+ 300), muros de piedra vegetalizados, por la ventaja de la estabilidad del talud y el costo de los materiales.

Para el avance de fondo de cárcava (progresiva 0+000 a 0+ 300), colchonetas de gaviones vegetalizados, que tiene mejores características físicas de tamaño, distancia a la que se colocaran éstas estructuras.

3. De las tres vegetaciones evaluadas: *Penisetum clandestinum* (Kikuyo), *Bromus unioloides* (Cebadilla), *Festuca dolichophylla* (Chilligua). la vegetación que presenta mejores características físicas, adaptación al suelo, es la planta *penisetum clandestinum* (Kikuyo), ya que éste presenta mayores dimensiones en: Ancho de hojas, diámetro de

tallos, número de tallos, número de hojas por tallo, densidad de hojas, longitud de raíces, diámetro de raíces y densidad de raíces; además dicha vegetación se desarrolla muy bien a una altura de 3,886 m.s.n.m., con una precipitación promedio total de 750 mm y a un temperatura mínima de  $-2^{\circ}\text{C}$ , máxima de  $19^{\circ}\text{C}$ , en la zona de investigación.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda las instituciones públicas, involucradas en el manejo, conservación de suelos y población en general a tomar conciencia de la conservación de zonas en peligro de degradación a fin de mitigar los grandes efectos negativos como la pérdida de suelo agrícola en la comunidad de Challacollo y zonas aledañas a dicha comunidad.

Las instituciones públicas del estado como el ALA, Agro Rural, la Municipalidad Provincial de El Collao-Ilave, deben implementar programas de capacitación en temas de buenas prácticas agrícolas para la conservación de suelos, a fin de evitar degradar el suelo y así poder contribuir a la sostenibilidad de los suelos para las futuras generaciones.

La Municipalidad Provincial de El Collao-Ilave, a través de la oficina de Gerencia de Desarrollo Urbano Rural en la Unidad de Estudios de Inversión, debe realizar proyectos con las estructuras propuestas en función a los resultados de investigación, características de las estructuras, así ejecutar la obra en el tiempo más corto posible ya que en ésta zona de estudio es una lomada de recarga de acuíferos, el cual, alimenta de agua potable a tres comunidades aledañas a la zona de estudio, por lo que recomiendo a los estudiantes, geólogos o especialistas en hidrogeología a realizar investigaciones en la zona, para poder mitigar y conservar los suelos agrícolas con aptitud productiva.



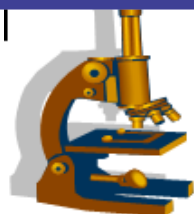
## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, J. (2001). Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Editorial Universidad de Caldas- Colombia,287p.
- Aquice, E. (1984). Guía de aprendizaje de Meteorología. UNA. FCA. Puno –Perú.
- Ancco, Y. (2006). Tesis, Modelamiento de la erosión hídrica en la microcuenca del rio Coraraca-llave. Presentada a la Universidad Nacional del Altiplano-Puno,98p.
- Becerra, A. (2005). Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México, 375p.
- Ccama, U. (2012). Tesis, Estimación de perdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del rio llave utilizando técnicas de teledetección y sig. Presentado a la Universidad Nacional del Altiplano- Puno, 92p.
- Cortés, H. (1991). “Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados” tesis maestría. Colegio de postgraduados montecillos México.
- Cubero, D. (1996). Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. San José, 278p.
- DSF, (Departamento de suelos y fertilizantes,2001). Universidad Nacional Agraria La Molina- Lima-Perú
- FAO, (Food and agricultureorganization). (1993). Erosión de Suelos en América Latina. Santiago, de Chile.

- Hernandez, C. (1990). Tesis, estimación de pérdida de suelo en cuatro predios forestales del municipio de Talpa - Allende Jalisco, Chapingo. México.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Editorial, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias de Medellín – Colombia, 97 – 299p.
- Kirkby, J. & Morgan R, (1994). Erosión de suelos, editorial Limusa S.A. Balderas México. 15 – 158p.
- Lobo Di Palma, M. & Sánchez, O. (2001). Agrostología. 1ra Edición. Editorial San José – Costa Rica, 24p.
- Morgan, J. (1997). Erosión y Conservación de Suelos. 2da Edición. Madrid España.
- Ministerio de agricultura y desarrollo rural. FUNACH-ASCAPAM. (2002). Unión Temporal. “EL SUELO, propiedades físicas, químicas y conservación” edición Mocoa- Colombia.
- Moreno, A. & Renner, I. (2007). Gestión integral de cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas.
- Montes, H. (2000). Tesis, Evaluación de riesgo de erosión hídrica mediante la utilización del modelo USLE., en la cuenca del río Santa Catarina. Querétaro. México.
- Maquera, R. (2013). Tesis, Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica para la propuesta de implementación de buenas prácticas agrícolas en la comunidad de Challacollo – Ilave. Perú, 70p.

- Porta, D., Bullerjahn, G., Durham, K., Wilhelm, S., Twiss, M., McKay, R., (2003). Physiological Characterization. Of a Synechococcus sp. (Cyanophyceae) Strain PCC 7942 iron dependent bioreporter of freshwater environments. J. Phycol.
- Quintanilla, R. (2008). Tesis, Estimación de pérdida de suelo mediante la ecuación USLE, en la cuenca del río Caine del departamento de Cochabamba – Bolivia.
- Rivera, O. (2003). Tesis maestría, Efecto de la interacción lluvia-escurrimiento en el proceso de la erosión en surcos. Universidad Autónoma de Querétaro. 139p.
- Suárez, J. (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga. División Editorial Universidad Industrial de Santander, 58 - 347p
- Torres, E. (2002). Evaluación de la degradación de los suelos en la Cuenca el Joselito. Instituto de Recursos Naturales. 126p.
- Vásquez, V. (2000). Manejo de Cuencas Altoandinas, Editorial Escuela Superior de Administración de Aguas “Charles Sutton”. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima – Perú. 516p.

# ANEXOS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONOMICA**  
**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**



ANALISIS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

NOMBRE : BACH. JOSE LUIS HUARICCALLO MAQUERA  
 PROCEDENCIA : CHALLACOLLO – ILAVE –PUNO-PERÚ  
 FECHA RECEPCIÓN: 06 /12/2012  
 FECHA ENTREGA DE RESULTADO: 11 /01/2013  
 LABORATORIO: AGUA Y SUELO FCA – UNA

# ORD	CLAVE DE CAMPO	PROFUNDIDAD DE MUESTRA ( cm)	HUMEDAD%	ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	pH	M.O. %	N. TOTAL %
				ARENA %	ARCILLO %	LIMO %				
01	MS-1	18	13.68	81.69	5.18	13.13	Arenoso franco	6.21	2.50	0.12
02	MS-2	18	10.76	83.50	4.90	11.60	Arenoso franco	6.67	2.65	0.13
03	MS-3	18	10.72	83.35	4.95	11.70	Arenoso franco	6.66	2.62	0.13

# ORD	ELEMENTOS DISPONIBLES	
	P ppm	K ppm
01	5.48	105
02	5.62	127
03	5.61	126

FA = Franco arenoso K = Potasio disponible  
 FAr = Franco arcilloso N = Nitrógeno total  
 Ar = Arcilloso M.O.=Materia orgánica  
 A = Arena P = Fósforo disponible  
 FArA = Franco arcillo arenoso  
 pH = Potencial del hidrogeno



*Fotografía N° 01. Muestra de las raíces del pasto  
Pennisetum clandestinum.*



*Fotografía N° 02. Etiquetado de la muestra cuarteada final o muestra uno.*



*Fotografía N° 03. Muestra representativa del pasto Pennisetum clandestinum.*



*Fotografía N° 04. Embolsado y etiquetado de muestras.*



*Fotografía N° 05. Talud en progresiva 0+180, de la cárcava.*





*Fotografía N° 06. Cabeza de la cárcava (progresiva 0+300).*



*Fotografía N° 07. Capa de suelo orgánico.*



*Fotografía N° 08. Avance lateral.*



*Fotografía N° 09. Movimiento de masa de suelo en talud lateral.*



*Fotografía N° 10. Ingreso de coordenadas UTM a la estación total.*